

Masterarbeit

**FORESIGHT IN DER ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFT:  
SZENARIEN ZUR SICHERSTELLUNG DER  
VERSORGUNGSSICHERHEIT IN ELEKTRISCHEN  
VERTEILNETZEN**

ausgeführt am



Fachhochschul-Masterstudiengang  
Innovationsmanagement

von

**DI Maximilian M. Prasser, BSc**

2010318013

betreut und begutachtet von

DI Gerd Hribernig

begutachtet von

FH-Prof. DI Dr. mont. Michael Terler

Graz, im Juni 2022



Unterschrift

## EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benützt und die benutzten Quellen wörtlich zitiert sowie inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized first name and a last name, positioned above a horizontal dotted line.

Unterschrift

## **DANKSAGUNG**

Die Masterarbeit stellt den Abschluss einer ereignisreichen Studienzeit dar. An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich im Laufe meines Studiums unterstützt und begleitet haben.

Zuerst gebührt mein Dank Herrn DI Gerd Hribernig für die Betreuung und Begutachtung der vorliegenden Arbeit. Weiters möchte ich mich bei Herrn Dr. mont. Michael Terler und Herrn Dr. Stefan Kappaun für die hilfreichen Anregungen und die konstruktive Kritik bei den Seminaren zur Masterarbeit bedanken. Daneben geht mein Dank an all jene, die am praktischen Teil dieser Arbeit mitgewirkt haben, insbesondere den Interviewteilnehmern und dem Kooperationspartner.

Das Studium am Campus 02 stellt für mich eine sehr durchwachsene Lebensphase mit Höhen und Tiefen dar. Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen Freunden und Verwandten bedanken, die mich in dieser Zeit unterstützt haben. Mein größter Dank geht jedoch an meine Mutter Manuela, welche die Fertigstellung der vorliegenden Arbeit und den Abschluss meines Studiums nicht mehr miterleben konnte.

## **KURZFASSUNG**

Das europäische Elektroenergiesystem befindet sich aktuell im Umbruch. Dieser Umbruch wird von unterschiedlichen gesellschaftlichen, technischen, wirtschaftlichen, ökologischen sowie politischen Trends getrieben. Vor allem Entwicklungen wie der Ausbau von erneuerbaren Energien und der damit verbundene Wandel hin zu einem dargebotsabhängigen Energiesystem, die Zunahme des Strombedarfs, die Digitalisierung sowie die Liberalisierung und Demokratisierung der Energiewirtschaft haben einen wesentlichen Einfluss auf die heimische Energieversorgung. Das Elektroenergiesystem, das durch lange Vorlaufzeiten und einer kapitalintensiven Infrastruktur gekennzeichnet ist, kann mit den aktuellen Entwicklungen womöglich nicht Schritt halten. Dies stellt wiederum eine Gefahr für das volkswirtschaftlich hochrelevante Gut der Versorgungssicherheit mit elektrischer Energie dar.

Welche Trends den größten Einfluss auf die Energiewirtschaft haben, wird im theoretischen Teil der Arbeit durch eine umfangreiche Literaturrecherche erhoben. Daneben werden im Theorieteil die Grundlagen der Elektrizitätswirtschaft, sowie der Versorgungssicherheit mit elektrischer Energie und die dafür notwendigen Technologien beschrieben. Das Ergebnis des theoretischen Teils der Arbeit bildet ein szenarienbasierter Technologiefrüherkennungs- und Technologiebewertungsprozess.

Im Praxisteil der Arbeit wird der entwickelte Prozess, der sich in vier Phasen gliedert, erprobt. In der ersten Phase werden elf Experteninterviews durchgeführt, um die identifizierten Trends zu validieren und womöglich weitere Trends zu ermitteln. Daneben werden anhand der Interviews Technologien zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit identifiziert. In der zweiten Phase werden zwei Umfragen zum Thema ‚Trends‘ und ‚Technologiereifegrad‘ durchgeführt. Im Anschluss werden im Rahmen eines Workshops drei Zukunftsszenarien für ein Energieversorgungsunternehmen (EVU) entwickelt und zu jedem Szenario ein eigenes Technologieportfolio erstellt. In der vierten Phase werden anhand der Szenarien und Technologieportfolios konkrete Konzepte in Form von Zukunftsbildern zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit im Netz des EVU's generiert.

Zusammenfassend stellt die Arbeit eine Methode dar, um anhand von Szenarien, in Kombination mit Technologieportfolios Konzepte und Handlungsempfehlungen für die strategische Planung für EVU's zu entwickeln.



## **ABSTRACT**

The European electric energy system is currently in a state of upheaval. This upheaval is being driven by various social, technical, economical, ecological and political trends. In particular, developments such as the expansion of renewable energies and the associated shift to a supply-dependent energy system, the increase in electricity demand, digitalization, and the liberalization and democratization of the energy industry are having a significant impact on the domestic energy supply. The electric power system, which is characterized by long lead times and a capital-intensive infrastructure, may not be able to keep pace with current developments. This in turn poses a threat to the economically highly relevant asset of security of supply with electrical energy.

In the theoretical part of the thesis, a comprehensive literature review is conducted to determine which trends will have the greatest impact on the energy economy. In addition, the theoretical part describes the fundamentals of the electricity economy, as well as the security of supply with electrical energy and the technologies required for this. The result of the theoretical part of the thesis is a scenario-based-technology-early-detection-and-technology-assessment-process (Technology-Intelligence-Process).

In the practical part of the thesis, the developed process, which is divided into four phases, is tested. In the first phase, eleven expert interviews are conducted to validate the identified trends and possibly identify further trends. In addition, technologies for maintaining supply security will be identified based on the interviews. In the second phase, two surveys on 'trends' and the 'technology readiness level' will be conducted. Subsequently, three future scenarios for an electric supply company will be developed in a workshop and a technology portfolio will be created for each scenario. In the fourth phase, the scenarios and technology portfolios are used to generate concrete concepts in the form of pictures-of-the-future for maintaining supply security in the utility's grid.

In summary, the work represents a method for using scenarios, in combination with technology portfolios, to develop concepts and recommendations for action for the strategic planning of energy supplier.

## INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	1
1.1	Ausgangssituation und Problemstellung .....	1
1.2	Ziel der Arbeit.....	2
1.3	Forschungsfrage .....	2
1.4	Bezug zum Innovationsmanagement .....	2
1.5	Untersuchungsdesign .....	3
2	Einführung in die Elektrizitätswirtschaft.....	5
2.1	Paradigmen der Elektrizitätswirtschaft .....	5
2.1.1	Mangelnde Speicherbarkeit.....	5
2.1.2	Netzgebundenheit.....	5
2.1.3	Leitungsgebundenheit .....	6
2.1.4	Gesamtsystemabhängigkeit .....	6
2.1.5	Langlebigkeit der Anlage .....	6
2.1.6	Kapitalintensiv.....	6
2.1.7	Lange Vorlaufzeiten .....	6
2.1.8	Dargebotsabhängige vs. bedarfsgerechte Erzeugung .....	7
2.1.9	Strom als essenzielles Wirtschaftsgut .....	7
2.2	Aufbau des elektrischen Energiesystems.....	7
2.3	Historische Entwicklung des elektrischen Energiesystems.....	9
2.4	Grundlagen des Stromhandels .....	11
3	Versorgungssicherheit elektrischer Energiesysteme .....	12
3.1	Begriffsdefinitionen .....	12
3.1.1	Versorgungszuverlässigkeit.....	12
3.1.2	Spannungsqualität .....	13
3.1.3	Operative Versorgungssicherheit .....	14
3.1.4	Kommerzielle Qualität.....	14
3.1.5	Langfristige Versorgungssicherheit .....	14
3.1.6	Energielenkung .....	15
3.2	Ursachen und Risiken für Versorgungsunterbrechungen .....	15
3.3	Rechtliche Grundlagen .....	15
3.4	Elemente der Versorgungssicherheit .....	16
4	Technologiefrüherkennung und -Bewertung.....	19
4.1	Grundlagen zu Technologien.....	19
4.1.1	Technologiebegriff .....	19
4.1.2	Klassifizierung von Technologien .....	19
4.1.2.1	Technologielebenszyklus .....	20
4.1.2.2	Leistungszyklus (S-Kurven-Konzept) .....	20
4.1.2.3	Interdependenzen.....	21
4.2	Grundlagen des Technologiemanagements.....	21
4.2.1	Einführung in das Technologiemanagement.....	22

4.2.2	Technologiefrüherkennung .....	23
4.2.3	Technologiebewertung .....	24
4.3	Methoden der Technologiefrüherkennung und -bewertung .....	25
4.3.1	Expertenbefragungen .....	26
4.3.2	Brainstorming.....	27
4.3.3	Technology Readiness Level.....	27
4.3.4	Nutzwertanalyse .....	28
4.3.5	Portfolioanalyse .....	28
4.3.6	Szenarioanalyse .....	29
5	Technologien der Versorgungssicherheit.....	30
5.1	Monitoring .....	30
5.2	Regeleinrichtungen.....	31
5.3	Diagnostik und Monitoring von Betriebsmitteln .....	34
5.4	Energiespeicher .....	35
5.5	Übertragungssysteme.....	36
5.6	Systemdienstleistungen.....	39
5.7	Schutztechnik.....	40
6	Strategische Vorschau .....	42
6.1	Trendforschung.....	42
6.1.1	Definition der Trendforschung .....	42
6.1.2	Arten von Trends .....	43
6.2	Zukunftsforschung .....	44
6.2.1	Definition der Zukunftsforschung .....	44
6.2.2	Möglichkeiten und Grenzen der Zukunftsforschung .....	45
6.3	Strategische Vorschau.....	46
6.3.1	Definition der strategischen Vorschau.....	46
6.3.2	Ziele der strategischen Vorschau .....	47
6.4	Methoden der strategischen Vorschau.....	47
6.4.1	Trendanalyse .....	48
6.4.2	Szenariotechnik .....	49
6.4.2.1	SWOT-Analyse.....	51
6.4.2.2	Konsistenzanalyse.....	51
6.4.2.3	Wechselwirkungsanalyse .....	51
6.4.2.4	Wilson-Matrix.....	52
6.4.2.5	Morphologischer Kasten.....	53
6.4.3	Zukunftsbilder .....	53
6.4.4	Picture-of-the-Future by Siemens.....	54
6.4.5	Zukunftsbilder nach Pillkahn.....	54
7	Trends in der Elektrizitätswirtschaft .....	56
7.1.1	Gesellschaftstrends .....	56
7.1.2	Technologietrends .....	58
7.1.3	Wirtschaftstrends .....	63

7.1.4	Umweltrends .....	66
7.1.5	Politiktrends .....	66
8	Entwurf eines szenarienbasierten Technologie früherkennungs- u. Technologiebewertungsprozess.	69
8.1	Einleitung .....	69
8.2	Methodenauswahl.....	70
8.3	Spezifisches Vorgehensmodell.....	71
8.3.1	Phase 1: Experteninterviews .....	72
8.3.2	Phase 2: Umfrage .....	73
8.3.3	Phase 3: Workshop .....	73
8.3.4	Phase 4: Konzeption.....	76
9	Durchführung des szenarienbasierten Technologie Früherkennungs- u. Technologiebewertungsprozess.....	77
9.1	Phase 1: Experteninterviews .....	77
9.1.1	Quantitative Umfrage .....	78
9.1.2	Qualitative Umfrage .....	79
9.1.2.1	Trends.....	79
9.1.2.2	Trendsteckbriefe.....	89
9.1.2.3	Technologien und technische Maßnahmen .....	90
9.1.2.4	Elemente der Versorgungssicherheit .....	90
9.2	Phase 2: Umfrage .....	92
9.2.1	Trendmatrix.....	92
9.2.2	Technologiereifegrad .....	92
9.3	Phase 3: Workshop .....	94
9.3.1	Vorstellung des Kooperationspartners .....	94
9.3.2	Schritt 1: Aufgabenanalyse & Fokussierung.....	94
9.3.3	Schritt 2: Auswahl der Zukunftselemente .....	96
9.3.4	Schritt 3: Generierung der Zukunftsinformation.....	96
9.3.5	Schritt 4: Selektion & Kombination .....	96
9.3.6	Schritt 5: Auswahl der Technologien .....	101
9.3.7	Schritt 6: Nutzwertanalyse .....	101
9.4	Konzeption .....	104
9.4.1	Zukunftsbild 1: Zero Investment .....	105
9.4.2	Zukunftsbild 2: > 100 % erneuerbare Energien .....	107
9.4.3	Zukunftsbild 3: Green-Tech-Cluster .....	109
9.4.4	Empfehlungen zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit in elektrischen Verteilnetzen	112
9.4.5	Szenarien Analyse .....	112
9.4.6	Allgemeine Empfehlungen.....	114
10	Resümee .....	118
	Literaturverzeichnis .....	120
	Abbildungsverzeichnis.....	131
	Tabellenverzeichnis.....	135
	Anhang 1: Statistiken.....	137

Anhang 2: Ausgewählte Themengebiete aus der elektrischen Energietechnik.....	141
Anhang 3: Interviewleitfaden .....	143
Anhang 4: Transkriptionen der Interviews.....	144
Anhang 5: Trendsteckbriefe .....	219
Anhang 6: Qualitative Erhebung - Technologien .....	229
Anhang 7: Technologie-Glosar.....	240
Anhang 8: Daten aus dem Praxisteil .....	254

# 1 EINLEITUNG

In der vorliegenden Arbeit wird, wie es der Titel bereits impliziert, die Versorgungssicherheit des österreichischen Stromsystems behandelt und insbesondere jene der Verteilnetze, die dafür zuständig sind, dass die elektrische Energie zu den Endverbraucher:innen gelangt. Einführend ist hervorzuheben, dass die Versorgungssicherheit in Österreich sich im internationalen Vergleich auf einem hohen Niveau befindet. Die Zeit eines Versorgungsausfalls für den Einzelnen und die Einzelne beträgt weniger als eine Stunde pro Jahr.<sup>1</sup>

Trotz dieser günstigen Situation steht die Energiewirtschaft vor erheblichen Umbrüchen, die die Versorgungssicherheit in Österreich beeinträchtigen können. So nehmen die Kosten für sogenannte Redispatch-Maßnahmen in den letzten Jahren erheblich zu, bei denen aktiv in den Stromhandel eingegriffen wird, um regionale Überlastungen einzelner Betriebsmittel zu verhindern sowie das Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Verbrauch herzustellen.<sup>2</sup> Auch medial ist das Thema Versorgungssicherheit insbesondere unter dem Schlagwort ‚Blackout‘ populär. So lag Österreich im Jahr 2021 auf Platz 1 der Google-Trendstatistik zum Wort ‚Blackout‘.<sup>3</sup> Die Thematik der Versorgungssicherheit umfasst jedoch nicht nur zwingend großflächige Stromausfälle. Auch andere Bereiche wie die Qualität der Stromversorgung, insbesondere die physikalischen Eigenschaften der elektrischen Energie, sind von hoher Bedeutung.

Um im Wandel der Zeit das volkswirtschaftlich hochrelevante Gut der Versorgungssicherheit mit elektrischer Energie in einem wirtschaftlich vertretbaren Maß zu gewährleisten, bedarf es neuer innovativer Herangehensweisen und Konzepte, die in der vorliegenden Arbeit identifiziert werden sollen.

## 1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Energieversorgungsunternehmen stehen aktuell vor erheblichen Herausforderungen, denn das elektrische Energiesystem befindet sich im Umbruch. Bis zum Jahr 2030 und darüber hinaus wird der Strombedarf in Österreich steigen. Dieser Zuwachs wird in hohem Maß von der Elektrifizierung bestimmter Sektoren wie des Verkehrs- und des Wärmesektors verursacht. Der zunehmende Bedarf soll vorwiegend durch erneuerbare Energiequellen gedeckt werden. Getrieben wird der Wunsch nach einer regenerativen Stromerzeugung durch den Klimawandel und die daraus resultierenden gesellschaftlichen sowie politischen Strömungen.

Aktuell sind in Österreich ca. 27 GW an Kraftwerksleistung installiert. Für die Erreichung des Ziels der österreichischen Regierung, 100 % des Strombedarfs bis 2030 mit erneuerbaren Energiequellen zu decken (aktuell ist dies für ca. 77 % des Strombedarfs der Fall), bedarf es der zusätzlichen Installation von rund 19 GW.<sup>2</sup> Jedoch führt die Integration dieser erneuerbaren Energien zu zunehmender Volatilität in der

---

<sup>1</sup> E-Control (2019), S. 13

<sup>2</sup> Austrian Powergrid AG und Vorarlberger Übertragungsnetz GmbH (2021), S. 6-7, 8, 25

<sup>3</sup> Google (2021), Onlinequelle [06.01.2022]

Stromerzeugung. Der Anschluss der neuen Energiequellen findet zu einem großen Anteil dezentral im elektrischen Verteilnetz statt. Zudem werden leistungsstarke zentrale Kraftwerke aufgrund der aktuellen Marktpreisbildung und der fehlenden Bepreisung von Kapazitätsreserven vom Energiemarkt getränkt. Dadurch kommt es immer häufiger zu Stromunterschüssen, aber auch zu Überschüssen. Damit das Gleichgewicht zwischen Stromerzeugung und Verbrauch gewahrt wird, bedarf es Energiespeicher, die aktuell jedoch nicht im ausreichendem Maß vorhanden sind. Außerdem müssen neue Stromleitungen gebaut werden, um die Energie von den dezentralen erneuerbaren Energiequellen zu den Verbrauchern zu transportieren. Der Bau dieser fehlenden Infrastruktur erfolgt jedoch nicht so schnell wie der Zuwachs erneuerbarer Energien. Diese und andere Entwicklungen wie die Liberalisierung und Demokratisierung des Stromsystems, aber auch neue Technologien stellen Gefahren für eine zuverlässige Versorgung mit elektrischer Energie dar.

### **1.2 Ziel der Arbeit**

In der vorliegenden Arbeit wird jeweils ein Kernziel im Theorie- und im Praxisteil verfolgt. Das Kernziel im Theorieteil ist der Entwurf eines szenarienbasierten Technologiefrüherkennungs- und Technologiebewertungsprozess. Durch diesen Bewertungsprozess sollen Energieversorger, aber auch Anlagenbauer dabei unterstützt werden, zukünftige Entwicklungen im Bereich der Elektrizitätswirtschaft früh genug zu erkennen und diesen mit geeigneten Technologien zu begegnen. Dabei liegt der Fokus des Prozesses auf der Entwicklung bzw. Implementierung von Technologien, die Einfluss auf die Versorgungssicherheit in elektrischen Verteilnetzen haben.

Beim Praxisteil besteht das Ziel darin, drei Szenarien eines steirischen EVUs (Energieversorgungsunternehmen) zu skizzieren, in denen unterschiedliche zukünftige Entwicklungen berücksichtigt werden. Innerhalb dieser Szenarien sollen verschiedene Technologien, die einen Beitrag zur Versorgungssicherheit leisten, untersucht und bewertet werden. Daraus sollen Konzepte zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit in elektrischen Verteilnetzen auf der Netzebene 4 bis 7 bis zum Jahr 2030 und darüber hinaus abgeleitet werden, die als Handlungsempfehlungen für das betrachtete EVU dienen können.

### **1.3 Forschungsfrage**

Mit welchen Technologien können die Versorgungssicherheit und damit die Zukunftsfähigkeit elektrischer Verteilnetze von Energieversorgungsunternehmen auf der Netzebene 4-7 gewährleistet werden und wie können diese zukunftsweisenden Technologien anhand eines szenarienbasierten Technologiefrüherkennungs- und Technologiebewertungsprozess identifiziert werden?

### **1.4 Bezug zum Innovationsmanagement**

In der vorliegenden Arbeit werden Methoden aus der strategischen Vorschau und dem Technologiemanagement verwendet, die sich auch als wesentliche Bestandteile des

Innovationsmanagements etabliert haben.<sup>4,5</sup> Der Kern dieser Arbeit besteht darin, die Zukunft anhand von Szenarien in die Gegenwart zu retpolieren und Technologien mithilfe von Portfolios in die Zukunft zu extrapolieren. Nach Vahs und Brem kann die prinzipielle Vorgehensweise dieser Arbeit daher der Entwicklung von Innovationsstrategien zugeordnet werden.<sup>6</sup>

## 1.5 Untersuchungsdesign

Das Untersuchungsdesign der vorliegenden Arbeit gliedert sich in den Theorie- (Abbildung 1) und den Praxisteil (Abbildung 2). Der Entwurf dieses Bewertungsprozesses wird auf die im Literaturteil gewonnenen Erkenntnisse gestützt. Diese Erkenntnisse umfassen das diese Arbeit essenzielle Wissen über den Aufbau des elektrischen Energiesystems und der Energiewirtschaft, was mit den ‚Grundlagen der Elektrizitätswirtschaft‘ abgedeckt wird. Dabei werden physikalische Grundlagen über die Elektrotechnik in der vorliegenden Arbeit nicht näher behandelt. Den Grundlagen folgt das Kapitel ‚Versorgungssicherheit elektrischer Energiesysteme‘, das die Begrifflichkeiten und die Elemente der Versorgungssicherheit zum Gegenstand hat.

Als wissenschaftliche Basis für den szenarienbasierten Technologiefrüherkennungs- und Technologiewertungsprozess werden in dieser Arbeit anhand von renommierter Fachliteratur die Grundlagen und Methoden aus den Gebieten des Technologiemanagements und der strategischen Vorschau behandelt. Diese werden in den Kapiteln 4 (‚Technologiefrüherkennung und Technologiebewertung‘) und 6 (‚Strategische Vorschau‘) erläutert.

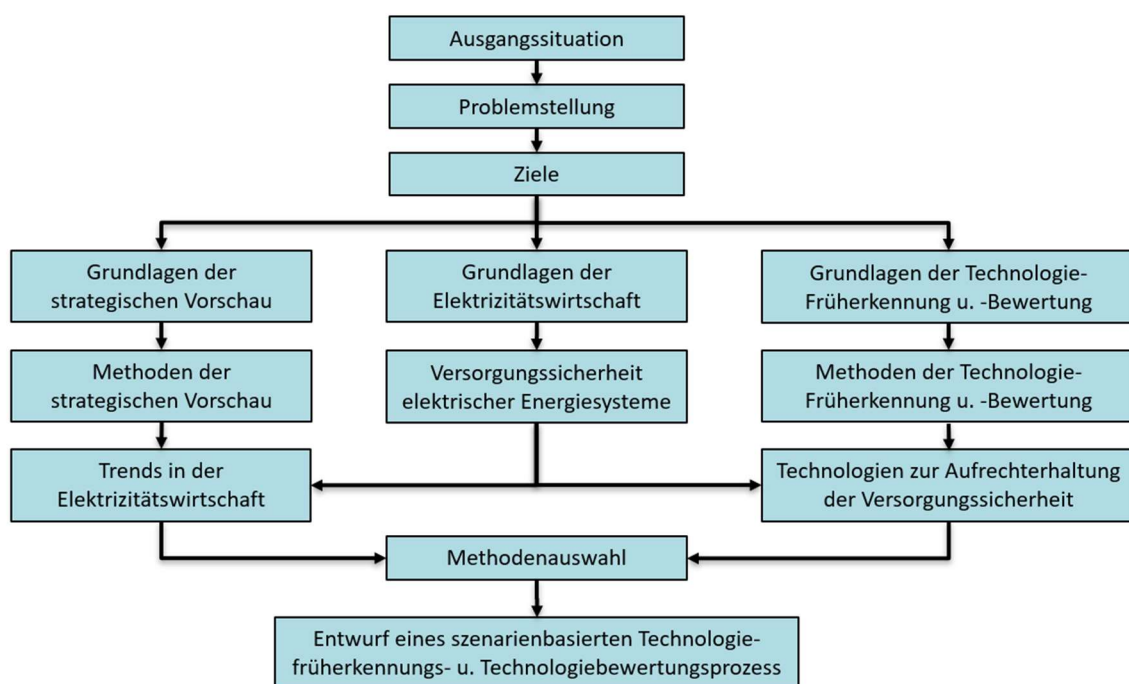


Abbildung 1: Untersuchungsdesign Theorie, Quelle: Eigene Darstellung

<sup>4</sup> Specht et al. (2002), S. 16

<sup>5</sup> Cuhls (2011), S. 190

<sup>6</sup> Vahs und Brem (2015), S. 122, 127



Für den Entwurf des Prozesses, der im Literaturteil entwickelt werden soll, müssen auch die aktuellen Technologien und Trends als Entwurfsbasis diskutiert werden. Daher werden im Anschluss an das Kapitel ‚Technologiefrüherkennung und Bewertung‘ in Kapitel 5 die Technologien zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit beschrieben. Ebenfalls werden im Anschluss an das Kapitel ‚Strategische Vorschau‘ in Kapitel 7 die aktuellen Trends in der Elektrizitätswirtschaft dargelegt. Der Theorieteil wird mit Kapitel 8 abgeschlossen und endet mit dem Entwurf eines szenarienbasierten Technologiefrüherkennungs- und Technologiebewertungsprozess.

Im Praxisteil liegt der Fokus auf der Durchführung und Exploration des im Theorieteil erarbeiteten Prozesses. Dabei sollen einerseits zukünftige Entwicklungen erkannt werden, aus denen in weiterer Folge Zukunftsszenarien entwickelt werden können. Andererseits soll ein Technologiefrüherkennungsprozess stattfinden. Auf Basis der Zukunftsszenarien und der im Technologiefrüherkennungsprozess gewonnenen Technologien soll sodann die Bewertung erfolgen, aus der Technologieportfolios zu den einzelnen Szenarien resultieren sollen. Dabei wird der Prozess auf die im Theorieteil erarbeiteten Trends und Technologien gestützt.

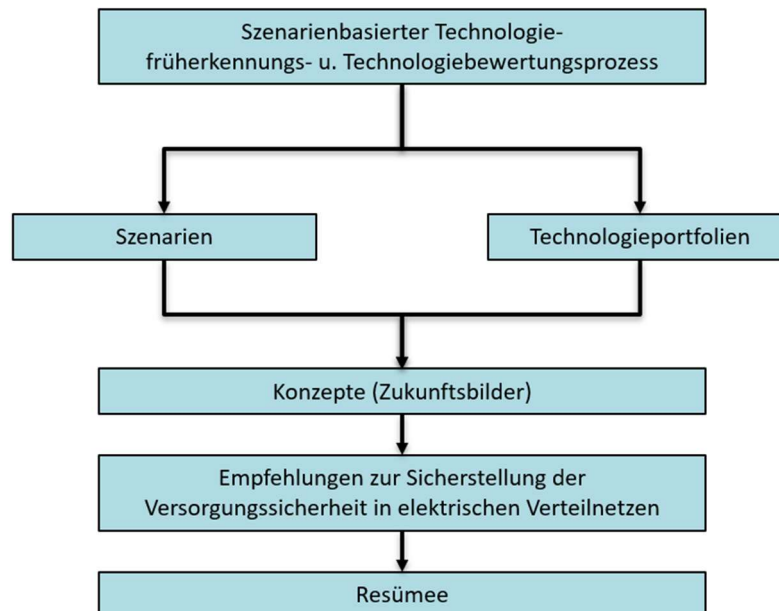


Abbildung 2: Untersuchungsdesign Praxis, Quelle: Eigene Darstellung

## 2 EINFÜHRUNG IN DIE ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFT

Im folgenden Kapitel werden die ökonomischen und technischen Grundlagen sowie wesentliche Begriffsbestimmungen erläutert, die für die durchgeführten Untersuchungen notwendig sind. Aufgrund der Thematik dieser Arbeit wird bei der Leserschaft ein grundlegendes physikalisches Verständnis vorausgesetzt. Dies betrifft das SI-System sowie Grundkenntnisse auf dem Gebiet der Elektrotechnik.

### 2.1 Paradigmen der Elektrizitätswirtschaft

Die Elektrizitätswirtschaft unterscheidet sich durch wesentliche Besonderheiten von anderen Wirtschaftszweigen. Diese werden unter dem Begriff ‚Paradigmen der Elektrizitätswirtschaft‘ zusammengefasst.<sup>7</sup> In Tabelle 1 sind diese Besonderheiten nach den Bereichen Technik, Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft geordnet aufgelistet. Die Paradigmen, die wesentlich zum Verständnis der Komplexität der Versorgungssicherheit in elektrischen Energiesystemen beitragen, werden in den folgenden Unterkapiteln erörtert.

Paradigmen der Elektrizitätswirtschaft			
Technik	Wirtschaft	Umwelt	Gesellschaft
Mangelnde Speicherbarkeit	Hohe Kapitalintensität	Umweltbelastungen	Unwissenheit zum Thema Energie
Netzgebundenheit	Lange Vorlaufzeiten	Gefahr von Unfällen mit katastrophalen Folgen	Energie als essenzielles Wirtschaftsgut
Gesamtsystemabhängigkeit	Unvollkommener Wettbewerb		
Leitungsgebunden	Peak Load Pricing		Infrastrukturelle Bedeutung der Energiewirtschaft
Langlebigkeit der Anlagen			
Substituierbarkeit und Volatilität			

Tabelle 1: Paradigmen der Elektrizitätswirtschaft, Quellen: In Anlehnung an Bachhiesl (2004), S. 11

#### 2.1.1 Mangelnde Speicherbarkeit

Im Unterschied zu anderen Energieformen wie Gas oder Kohle ist die elektrische Energie nicht in großen Mengen speicherbar. Daraus resultiert, dass die Erzeugung der elektrischen Energie jederzeit an den Bedarf angepasst werden muss. Um die Anpassung an den Bedarf zu gewährleisten, müssen die Erzeugungskapazitäten für die maximal auftretende Nachfrage ausgelegt sein.<sup>8</sup>

#### 2.1.2 Netzgebundenheit

Die elektrische Energie muss mittels Übertragungs- und Verteilnetzen vom Ort der Erzeugung zum Ort des Verbrauchs transportiert werden. Dieser Energietransport wird durch die maximal übertragbare Energie der Leitungen beschränkt.<sup>9</sup> Zudem ist der Energiefluss in einem vermaschten elektrischen Netz nur zu einem geringen Grad steuerbar, da er den physikalischen Gesetzmäßigkeiten (Kirchhoffsche Regeln) unterworfen ist.<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Stigler (1999), S. 5-9

<sup>8</sup> Huber (2010), S. 12-14

<sup>9</sup> Süßenbacher und Wilhelm (2011), S. 46-47

### **2.1.3 Leitungsgebundenheit**

Elektrische Energie kann nur über entsprechende Energieleitungen übertragen werden. Da diese Leitungen kapitalintensiv sind, stellt die Energieinfrastruktur ein natürliches Monopol dar. Denn eine mehrschichtige Infrastruktur wäre aus volkswirtschaftlicher Sicht nicht optimal. Die Monopole sind in Gebietsmonopole unterteilt und unterstehen einer strengen regulatorischen Aufsicht.<sup>10</sup>

### **2.1.4 Gesamtsystemabhängigkeit**

Das elektrische Energiesystem ist ein hochkomplexes System, das die Bereiche der Netzinfrastruktur (Übertragung u. Verteilung), der Energieerzeugung sowie des -Handels umfasst. Diese Bereiche sind seit der Liberalisierung der europäischen Elektrizitätswirtschaft rechtlich und organisatorisch getrennt. Um die sichere und zuverlässige Stromversorgung zu gewährleisten, müssen die operativ getrennten Einheiten unter Einhaltung eines umfangreichen Regelwerks arbeiten, um die Funktion des Gesamtsystems zu garantieren.<sup>10</sup>

### **2.1.5 Langlebigkeit der Anlage**

Elektrische Anlagen und die dafür benötigte Infrastruktur weisen im Vergleich mit Anlagen aus anderen Branchen eine vergleichsweise hohe Lebens- und Nutzungsdauer auf. So wird z. B. die Lebensdauer von Siemens-GEAFOL Transformatoren mit mindestens 30 Jahren oder jene von Mittelspannungsschaltanlagen der Type 8DJH mit über 35 Jahren angegeben.<sup>11,12</sup> Diese Langlebigkeit führt zu einem besonders geringen Kapitalumschlag der Elektrizitätswirtschaft. Außerdem wirken sich einmal getroffene Entscheidungen langfristig auf Unternehmen aus.<sup>10</sup>

### **2.1.6 Kapitalintensiv**

Die Elektrizitätswirtschaft ist eine sehr kapitalintensive Branche. Sämtliche für den Betrieb benötigte Anlagen, angefangen von der Erzeugung, der Übertragung und der Verteilung sind mit hohen Investitionskosten verbunden. Daher bedarf es vorausschauender Investitionen, um das vorhandene Kapital wirtschaftlich einzusetzen. Die Kapitalintensität gepaart mit den langen Anlagennutzungsdauern und den langen Kapitalrückgewinnungszeiten erschweren die Planung und die Entwicklung von Unternehmensstrategien.<sup>10</sup>

### **2.1.7 Lange Vorlaufzeiten**

Im Vergleich mit anderen Wirtschaftsbranchen wird für Projekte in der Elektrizitätswirtschaft, insbesondere für Kraftwerks- und Leitungsbauprojekte, lange Zeit für Planung, Genehmigung und Errichtung benötigt. In der Planung muss daher äußerst weitsichtig agiert werden und der Bedarf an zusätzlichen Anlagen muss frühzeitig erkannt werden. Anderenfalls kann es zu Versorgungsengpässen kommen.<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> Huber (2010), S. 12-14, 17

<sup>11</sup> Siemens AG (2014), S. 6

<sup>12</sup> Siemens AG (2017), S. 6

## 2.1.8 Dargebotsabhängige vs. bedarfsgerechte Erzeugung

In der Elektrizitätswirtschaft muss zwischen dargebotsabhängigen und bedarfsgerechten Erzeugungstechnologien unterschieden werden. Bedarfsgerechte Stromerzeuger können die meiste Zeit des Jahres ihre maximale Leistung abrufen und sind in der Lage, die Erzeugung an den benötigten Bedarf anzupassen.<sup>13</sup> Dargebotsabhängige Stromerzeuger sind jedoch einer zeitlichen Abhängigkeit unterworfen, da z. B. Wasser- oder Windkraft nicht konstant oder auf Abruf verfügbar sind.<sup>14</sup> Dargebotsabhängige Stromerzeuger gewinnen ihre Energie üblicherweise aus erneuerbaren Energiequellen. Da die erzeugte und die verbrauchte elektrische Energie immer konstant sein müssen, stellen dargebotsabhängige Erzeuger das elektrische Energiesystem vor besondere Herausforderungen.

## 2.1.9 Strom als essenzielles Wirtschaftsgut

Für private Haushalte, Gewerbebetriebe und die Industrie stellt die „elektrische Energie ein essenzielles Wirtschaftsgut“<sup>15</sup> dar. In vielen Bereichen ist die elektrische Energie nicht substituierbar. Daraus kann die hohe Bedeutung der Versorgungssicherheit hinsichtlich elektrischer Energie für die gesamte österreichische Volkswirtschaft abgeleitet werden.<sup>15</sup>

## 2.2 Aufbau des elektrischen Energiesystems

Das elektrische Energiesystem, das auch ‚Elektroenergiesystem‘ genannt wird, umfasst sämtliche technische Einrichtungen, die zur Gesteuerung, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie notwendig sind. Zur Abgrenzung dieser Systeme werden sogenannte Regelzonen definiert. Die Regelzonen von 33 europäischen Ländern sind heute im transeuropäischen Verband ENTSO-E zusammengeschlossen.<sup>16</sup> Dabei stellt Österreich (ausgenommen Vorarlberg) unter der Führung der APG (Austrian Power Grid AG) eine eigene Regelzone dar, wobei die Abgrenzung zu den umliegenden Regelzonen über die Hoch- und Höchstspannungsebene erfolgt.<sup>17</sup>

Die Hoch- und die Höchstspannungsebene stellen mit 110 kV und 220 kV bzw. 380 kV die höchsten Spannungsebenen in Europa dar. Auf diese folgen die Mittelspannung mit 10 kV, 20 kV und 30 kV sowie die Niederspannung mit 0,4 kV. Der Grund für die unterschiedlichen Spannungsebenen sind die unterschiedlich hohen Kraftwerksleistungen und die diversen Klein- und Großverbraucher, wobei Kraftwerke und Verbraucher mit hohen Leistungen auch in höheren Netzebenen vorhanden sind.<sup>18</sup> Aufgrund der erhöhten Spannung werden dabei die thermischen Verluste bei der Übertragung und Verteilung der elektrischen Energie reduziert. In Abbildung 3 wird ein Überblick über den Aufbau und die

---

<sup>13</sup> Süßenbacher und Wilhelm (2011), S. 46-47

<sup>14</sup> Huber (2010), S. 15-16

<sup>15</sup> Stigler (1999), S. 9

<sup>16</sup> Niederhausen und Burkert (2014), S. 17-24

<sup>17</sup> Austrian Power Grid AG (APG) (2021), Onlinequelle [29.08.2021]

<sup>18</sup> Schwab (2015), S. 33-35

Spannungs- bzw. Netzebenen des Elektroenergiesystems gegeben. Die einzelnen Netzebenen werden unter dem Begriff der Übertragungs- und Verteilnetze zusammengefasst.<sup>19</sup> Die einzelnen Ebenen werden in Tabelle 2 näher erläutert.

Darüber hinaus spielt die Topologie der Netze eine entscheidende Rolle. Es wird zwischen Strahlen-, Ring- und Maschennetzen unterschieden. Bei einem Strahlennetz verlaufen die Leitungen (Zweige) strahlenförmig von der Einspeisung (dem Knoten) weg; Strahlennetze sind vorwiegend auf Ebene 7 und teilweise auf Ebene 5 vorzufinden. Bei einem Ringnetz sind die Enden zweier Strahlen zu einem Ring verbunden. Somit kann jeder Verbraucher von zwei Seiten gespeist werden. Diese Struktur ist hauptsächlich auf den Ebenen 3 und 5 vorzufinden. Beim Maschennetz werden mehrere Knoten (Erzeuger/Verbraucher) über Zweige verbunden. Diese Topologie wird vorwiegend in Höchstspannungsnetzen gewählt, da sie die höchste Versorgungszuverlässigkeit bietet.<sup>20</sup> Neben der Netztopologie ist auch die Netzform von hoher Bedeutung für die System- und Versorgungssicherheit. Die unterschiedlichen Netzformen können dem Anhang 2 entnommen werden.

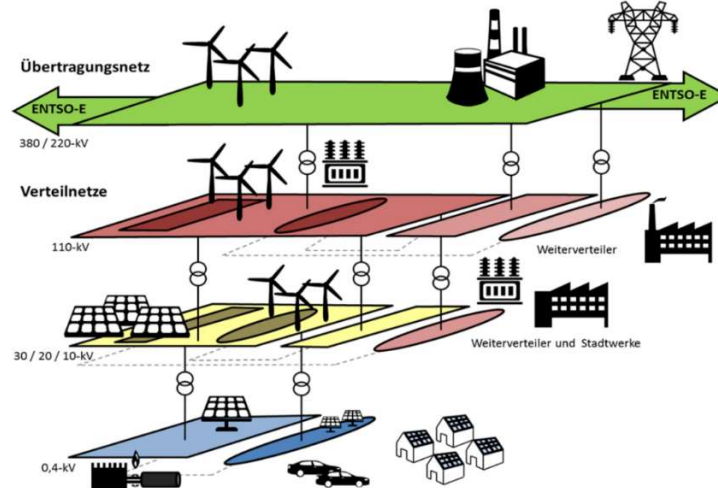


Abbildung 3: Prinzipielle Darstellung der Netzebenen u. der typischen Erzeuger/Lasten, Quelle: Kurt Vetten (2015), S. 15

Übertragungsnetzsektor	
Ebene	Funktion
1	Höchstspannungsnetz mit 380 kV/220 kV, einschließlich Umspannung
2	Umspannung zwischen Höchst- und Hochspannungsebene
Verteilnetzsektor	
3	Hochspannungsnetz mit 110 kV
4	Umspannung zwischen Hoch- und Mittelspannung
5	Mittelspannungsnetz, üblicherweise 10 kV bis 35 kV
6	Transformatorstationen zwischen Mittel- Niederspannung
7	Niederspannungsnetz mit üblicherweise 400 V bzw. 230 V

Tabelle 2: Netzebenen des Elektroenergiesystems, Quelle: In Anlehnung an Vetten (2015), S. 15

Wie bereits beschrieben, ist die APG für den Betrieb des Übertragungsnetzes verantwortlich. Das natürliche Monopol hinsichtlich der Verteilnetze haben sogenannte Verteilnetzbetreiber.<sup>21</sup> In Österreich

<sup>19</sup> Vetten (2015), S. 15

<sup>20</sup> Schwab (2015), S. 539-542

<sup>21</sup> Schwab (2015), S. 34-35

sind 122 Stromverteilnetzbetreiber bei der E-Control gelistet.<sup>22</sup> Dabei besteht für die Steiermark eine Besonderheit, denn in diesem Bundesland sind allein 46 Verteilnetzbetreiber aktiv.<sup>23</sup> Wie bereits in Kapitel 1 erwähnt, liegt der Fokus dieser Arbeit auf den Netzebenen 4 bis 7. Diese sind in der Mittelspannungsebene durch Kabel- oder Freileitungsnetze mit einer Ausdehnung von wenigen Kilometern gekennzeichnet, mit Erzeugungsanlagen wie Windkraftanlagen oder PV-Anlagen mit einigen MW Leistung, die zur unmittelbaren Versorgung unterlagerter Niederspannungsnetze dienen. Außerdem sind an diese Netzebene Großverbraucher angeschlossen, insbesondere Industriestandorte. Über Ortsnetztransformatoren wird das nachgelagerte Ortsnetz gespeist. Diese Transformatorstationen befinden sich in unmittelbarer Nähe zu den angebundenen Anlagen. An diesen Ortsnetztransformatoren bzw. deren Verteiler hängen Verbraucher mit einigen kW Leistung sowie kleine PV-Anlagen als Stromerzeuger.<sup>24</sup> Die Verteilnetze werden nach dem (n-1)-Ausfallprinzip geplant. Das bedeutet, dass „bei Ausfall eines Betriebsmittels, dass Netz nicht überlastet und die Versorgung der anderen Anlagenteile nicht beeinträchtigt wird“.<sup>25</sup>

### 2.3 Historische Entwicklung des elektrischen Energiesystems

Da die vorliegende Arbeit der Vorausschau in der Elektrizitätswirtschaft gewidmet ist, muss für eine ganzheitliche Auseinandersetzung mit der Thematik die Vergangenheit des elektrischen Energiesystems analysiert werden.<sup>26</sup> In Anlehnung an Brauner wird die historische Entwicklung in vier Perioden eingeteilt, wobei aktuell die dritten in die vierte Periode übergeht.<sup>24</sup> Die im folgenden dargestellten Entwicklungen sind im europäischen Kontext zu sehen.

#### Periode 1: Entwicklung der Systemarchitektur und der Komponenten

Die erste Periode dauerte ca. fünfzig Jahre und begann ca. 1880. In dieser Periode wurden die ersten funktionierenden Drehstromtransformatoren und -motoren auf den Markt gebracht, wodurch die Gleichstrom- von der Wechselstromtechnik übertroffen wurde.<sup>27</sup> Zunächst wurden teils private dezentrale Kraftwerke errichtet, die der Energieversorgung von Unternehmen oder Großgebäuden dienten. Daneben kam es zur Gründung städtischer Stadtwerke zur Versorgung der öffentlichen Straßenbeleuchtung, des öffentlichen Verkehrs, aber auch privater Haushalte.<sup>28</sup>

#### Periode 2: Entwicklung der Systemarchitektur und der Komponenten

Ab 1930 verschmolzen die zuvor beschriebenen dezentralen Strukturen privater und öffentlicher Energieversorger zu weiträumigen Systemen. Das Ziel der Energiewirtschaft war die Implementierung

---

<sup>22</sup> E-Control, Onlinequelle [29.08.2021 a]

<sup>23</sup> E-Control, Onlinequelle [29.08.2021 b]

<sup>24</sup> Brauner (2016), S.25-28

<sup>25</sup> Kasikci (2015), S. 19-21, 296

<sup>26</sup> Steinmüller et al. (2000), S. 41

<sup>27</sup> Heuck et al. (2013), S. 1-4

<sup>28</sup> Schwab (2015), S. 11, 21

großer und kostengünstiger Kraftwerke.<sup>24</sup> Es zeigte sich, dass mit steigender Leistung und immer längeren Transportwegen Netze mit höheren Spannungsebenen benötigt wurden. Bei der höheren Spannung besteht der wesentliche Vorteil, dass die Energie verlustärmer und damit wirtschaftlicher transportiert und verteilt werden kann.<sup>27</sup> Die zweite Periode endete ca. 1980. Bis zu diesem Zeitpunkt wurden die technischen Grenzen mit der Entwicklung und dem Bau von Kernkraftwerken, der Errichtung des europäischen 380-kV-Übertragungsnetzes (des UCPT-Netzes) und Innovationen wie der Hochspannungs-Gleichstromübertragung, dem SF<sub>6</sub>-Isoliergas oder vernetzten Polyethylen-Kabeln ausgereizt.<sup>29</sup>

### **Periode 3: Deregulierung, Emissionsbegrenzung und Nachhaltigkeit**

Nachdem am Ende der zweiten Periode ein System mit zentraler Energieversorgung mit großen Kraftwerksparks realisiert worden war, begann die nächste Periode ca. 1990 mit dem Wandel in der Organisationsstruktur von Energieversorgungsunternehmen. Es kam zur Aufspaltung der Monopolstrukturen der vertikal integrierten Energieversorger.<sup>29</sup> Diese Ära der liberalisierten Strommärkte war durch einen zweiten Veränderungsprozess geprägt, nämlich durch die Energiewende. Es kam zu einem Umdenken in Gesellschaft und Politik mit dem Wunsch, die erschöpflichen Primärenergieträger (Kohle, Öl, Erdgas, Kernenergie) gegen regenerative Energieformen (Wind, Solar, Biomasse, Wasser) zu ersetzen.<sup>28</sup> An dieser Stelle ist anzumerken, dass die Wasserkraft auch schon vor der dritten Periode eine tragende Säule in der österreichischen Energieversorgung darstellte.<sup>30</sup>

### **Periode 4: Entwicklung intelligenter dezentraler Strukturen**

Nach Braun ist die vierte Periode durch „den Übergang von zentralen zu intelligenten dezentralen Versorgungsstrukturen mit Eigenerzeugung gekennzeichnet“.<sup>29</sup> In dieser Periode wurden wiederum Technologien bereitgestellt, damit die ökonomische und ökologische Integration regenerativer Energien aus der dritten Periode möglich wurde. Daher ist die dritte Periode noch nicht zu Ende und es findet soeben der Übergang zwischen der dritten und der vierten Periode statt. Trotz dieser Entwicklung hin zu dezentralen Strukturen werden die bestehenden zentralen Strukturen auch noch in Zukunft benötigt werden.<sup>29</sup>

Für die weitere Integration regenerativer Energien gibt es zwei systemtechnische Ansätze und mögliche Entwicklungen. Die eine ist die Entwicklung hin zu einem Microgrid, in dem durch eine Kombination aus lokalen Erzeugungstechnologien und Energiespeichern der Großteil des lokalen Energiebedarfs vor Ort abgedeckt wird. Die Übertragungsnetze dienen nurmehr dazu, die Energiedifferenzen zwischen den einzelnen Energieinseln auszugleichen.<sup>31</sup> Die andere mögliche bzw. parallele Entwicklung ist ein Supergrid. In diesem würden leistungsintensive regenerative Energiequellen wie Offshore-Windparks, Solarkraftwerke und Wasserkraftwerke über ein Megatransportnetz miteinander verbunden werden.<sup>29</sup>

---

<sup>29</sup> Brauner (2016), S. 21-28

<sup>30</sup> Huber (2010), S. 23-24

<sup>31</sup> Niederhausen und Burkert (2014), S. 125-126

## 2.4 Grundlagen des Stromhandels

Um ein besseres Verständnis der Elektrizitätswirtschaft zu ermöglichen, wird in diesem Unterkapitel der grundsätzliche Vorgang des Stromhandels skizziert. Strom kann bilateral zwischen den Marktteilnehmern oder über Strombörsen gehandelt werden. Die Marktteilnehmer, bestehend aus Erzeugern und Verbrauchern, schließen sich zu sogenannten Bilanzgruppen zusammen. Innerhalb einer Bilanzgruppe muss die Summe aus Energieerzeugung und -verbrauch konstant sein.<sup>32</sup> Eine Darstellung des Strommarkts wird in Abbildung 4 gezeigt, in der auch die zeitliche Komponente des Stromhandels auf der Abszisse wiedergegeben wird. Beim Handel mit elektrischer Energie an der Börse wird zwischen dem Terminmarkt, dem Day-Ahead-Markt (auch ‚Spotmarkt‘ genannt) und dem Intradaymarkt unterschieden. Auf dem Terminmarkt erfolgt der Handel bis zu sechs Jahre in die Zukunft. Auf dem Day-Ahead-Markt können Stromstundenkontrakte für den Folgetag in einer täglichen Auktion erworben werden. Auf dem Intradaymarkt ist ein kurzfristiger Energieerwerb bis 75 Minuten vor der physischen Lieferung möglich.<sup>33</sup> Der außerbörsliche Großhandel, auch ‚Over-the-Counter‘(OTC)-Handel genannt, kann entsprechend Abbildung 4 über mehrere Jahre bis hin zu einigen Stunden erfolgen.<sup>34</sup>

Neben dem Handel elektrischer Energie zwischen den Marktteilnehmern kann auch Regelenergie an den Regelzonenführer (Transmission System Operator, TSO) verkauft werden. Diese dient dazu, die Differenz zwischen eingespeister und entnommener elektrischer Energie innerhalb einer Regelzone auszugleichen. Die Kosten für die Regelenergie werden beim sogenannten Clearing an die Bilanzgruppen verrechnet, denen der Bedarf an Regelenergie zuzurechnen ist.<sup>32</sup>

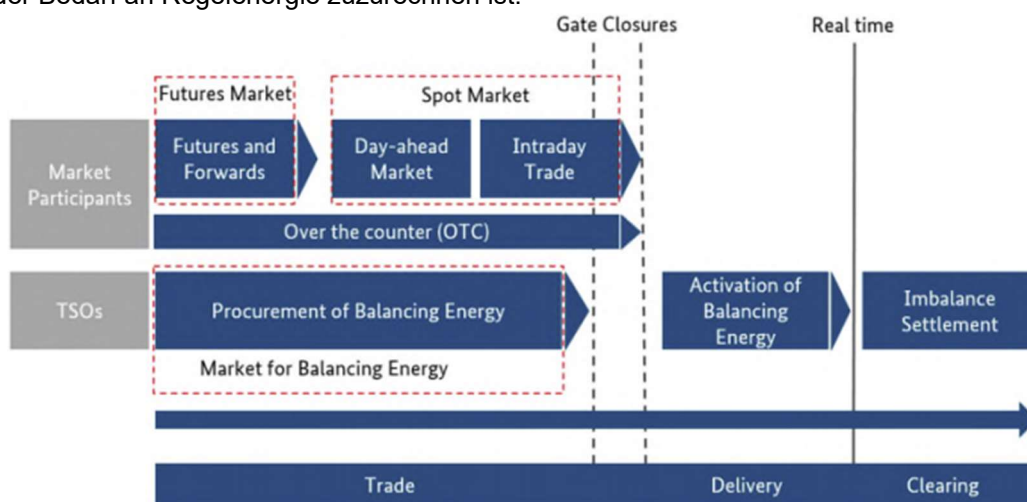


Abbildung 4: Übersicht über den Strommarkt, Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2021), S. 13

Mit der Zunahme erneuerbarer Energien im Stromnetz steigen auch der Bedarf und damit die Kosten für Regelenergie.<sup>35</sup> Durch den steigenden Bedarf an Regelenergie wird verdeutlicht, dass die Versorgungssicherheit elektrischer Netze zunehmend kritischer wird.

<sup>32</sup> E-Control, Onlinequelle [29.08.2021]

<sup>33</sup> Süßenbacher und Wilhelm (2011), S. 26-30

<sup>34</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2021), S. 13

<sup>35</sup> Schwab (2015), S. 26



### 3 VERSORGUNGSSICHERHEIT ELEKTRISCHER ENERGIESYSTEME

Mit der stetigen Zunahme an Elektrizitätsanwendungen fordern die Stromkunden, dass die elektrische Energie ohne Versorgungsunterbrechungen und Funktionsbeeinträchtigung der eingesetzten Betriebsmittel geliefert wird. Die Versorgungssicherheit steht im engen Zusammenhang mit der Versorgungsqualität. In der Literatur werden diese Begrifflichkeiten und die dazugehörigen Unterkategorien in unterschiedlichem Kontext miteinander in Beziehung gebracht.<sup>36</sup>

In der nachfolgenden Arbeit erfolgen die Verwendung der Begrifflichkeiten und deren Zuordnung entsprechend den Vorgaben der E-Control. Gemäß der E-Control werden die Begriffe ‚Versorgungsqualität‘ und ‚Versorgungssicherung‘ unter dem Überbegriff ‚Versorgungssicherheit‘ zusammengefasst. In diesem Kontext gilt die Definition der E-Control, die wie folgt lautet: „Versorgungssicherheit bedeutet, dass Elektrizitätsverbraucher elektrische Energie mit definierter Qualität beziehen können, zu dem Zeitpunkt, wenn sie diese benötigen und zu kostenorientierten und transparenten Preisen“.<sup>37</sup> Eine Übersicht der Begrifflichkeiten sowie der Unterbegriffe kann Tabelle 3 entnommen werden.

<b>Versorgungs- sicherheit</b>	<b>Versorgungsqualität</b>	Versorgungszuverlässigkeit
		Spannungsqualität
		Operative Versorgungssicherheit (Betrieb)
		Kommerzielle Qualität
	<b>Versorgungssicherung</b>	Langfristige Versorgungssicherheit (Erzeugung, Netz)
		Energielenkung

Tabelle 3: Übersicht des Begriffes ‚Versorgungssicherheit‘, Quelle: In Anlehnung an E-Control, Onlinequelle [05.09.2021 f]

Bei der Begriffsdefinition der Versorgungssicherheit nach der E-Control wird der physikalischen Verfügbarkeit elektrischer Energie das gleiche Maß an Bedeutung beigemessen wie dem Preis, den der Energiekonsument für diese Energie zu zahlen hat. Der Hintergrund hierfür ist, dass der Energiepreis relevanten Einfluss auf das Wirtschaftswachstum und die Konkurrenzfähigkeit der heimischen Wirtschaft hat.<sup>37</sup> Hier ist zu erwähnen, dass eine vollkommene Versorgungssicherheit aus volkswirtschaftlicher Sicht unbezahlbar und daher nicht sinnvoll ist.<sup>38</sup> Im nachfolgenden Kapitel wird näher auf die einzelnen Begriffe eingegangen, wobei sich zeigen wird, dass nicht jeder dieser Punkte für die vorliegende Arbeit relevant ist.

## 3.1 Begriffsdefinitionen

### 3.1.1 Versorgungszuverlässigkeit

Unter ‚Versorgungszuverlässigkeit‘ wird die störungsfreie Funktionstüchtigkeit elektrischer Netzelemente sowie des Gesamtnetzes verstanden.<sup>39</sup> Laut TOR (Technische organisatorische Regeln für Betreiber und Benutzer von Netzen) Teil A lautet die Definition von Versorgungszuverlässigkeit wie folgt: „Die

<sup>36</sup> Crastan und Westermann (2018), S. 199-200

<sup>37</sup> E-Control, Onlinequelle [05.09.2021 f]

<sup>38</sup> Schwab (2015), S. 7

<sup>39</sup> E-Control, Onlinequelle [05.09.2021 g]

Versorgungszuverlässigkeit ist die Fähigkeit eines elektrischen Systems, seine Versorgungsaufgaben unter vorgegebenen Bedingungen während einer bestimmten Zeitspanne zu erfüllen.“<sup>40</sup>

Zur Bewertung der Versorgungszuverlässigkeit werden unterschiedliche Kennzahlen herangezogen, beispielsweise der System Average Interruption Duration Index (SAIDI), der die kundenbezogene Nichtverfügbarkeit elektrischer Energie angibt (siehe Formel 1.1). Eine anderer Richtwert ist der Average System Interruption Duration Index (ASIDI), der die leistungsbezogene Nichtverfügbarkeit verdeutlicht und bei dem gemäß Formel 1.1  $n_j$  gegen die unterbrochene und  $N$  gegen die gesamte installierte Scheinleistung getauscht werden.<sup>41</sup>

$$SAIDI = \frac{\sum_{j=1}^U n_j \cdot t_j}{N} \quad (1.1)$$

$n_j$  Anzahl der betroffenen Netzbenutzer je Anlassfall  
 $N$  Gesamtzahl der Netzbenutzer  
 $t_j$  Unterbrechungsdauer je Anlassfall in min

Im Jahr 2019 lag der SAIDI-Wert bei rund 50,75 Minuten und der ASIDI-Wert bei rund 64,06 Minuten, wodurch der hohe Grad an Versorgungszuverlässigkeit der österreichischen Stromversorgung unterstrichen wird.<sup>42</sup>

### 3.1.2 Spannungsqualität

In der TOR Teil A wird die Spannungsqualität wie folgt definiert: „Merkmale der elektrischen Spannung an einem bestimmten Punkt eines elektrischen Netzes, ausgedrückt durch eine Anzahl von technischen Referenzwerten.“<sup>40</sup> Die Qualität der Spannung wird anhand physikalischer Eigenschaften und mittels bei der Lieferung an der jeweiligen Übergabestelle zum Netzbenutzer auftretender physikalischer Eigenschaften gemessen.<sup>43</sup> Die Beeinträchtigung der Spannungsqualität wird durch Fehler in der Netzversorgung sowie durch Netzurückwirkungen aufgrund installierter Geräte, Anlagen sowie Betriebsmittel verursacht.<sup>44</sup> Laut der Norm OVE EN 50160 werden die Hauptmerkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen gemäß Tabelle 4 definiert.<sup>45</sup>

Eine nähere Beschreibung der Grundprobleme der Spannungsqualität ist in Abbildung 58 in Anhang 2 enthalten. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass von der Norm zur Spannungsqualität keine konkreten Aussagen zur elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) getroffen werden. Dabei definiert EMV die „Fähigkeit einer Einrichtung oder eines Systems, in der gegebenen elektromagnetischen Umgebung zufriedenstellend zu funktionieren, ohne selbst unzulässige elektromagnetische Störgrößen einzubringen“. Dabei werden entsprechende gegenseitige Beeinflussungen als ‚Netzurückwirkungen‘ bezeichnet. Sie können die Spannungsqualität negativ beeinflussen.<sup>46</sup>

---

<sup>40</sup> E-Control (2017), S. 50

<sup>41</sup> Schwab (2015), S. 938-939

<sup>42</sup> E-Control (2019), S. 13

<sup>43</sup> Crastan und Westermann (2018), S. 202

<sup>44</sup> Siemens AG (2015), S. 69

<sup>45</sup> OVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik (2020), S. 15-29

<sup>46</sup> Siemens AG (2015), S. 75

Merkmal	Anforderungen
Netzfrequenz	Verbundnetz: 50 Hz $\pm$ 1 % während $\geq$ 99,5 % eines Jahres
Langsame Spannungsänderungen	$U_{\text{nenn}} \pm 10$ % während $\geq$ 95 % einer Woche
Flicker/ Schnelle Spannungsänderungen	Langzeitflickerstärke $P_{\text{it}} < 1$ während $\geq$ 95 % einer Woche und $\Delta U_{10\text{ms}} < 2$ % $U_{\text{nenn}}$
Spannungsunsymmetrie	$U$ (Gegensystem)/ $U$ (Mitsystem) $< 2$ % während $\geq$ 95 % einer Woche
Oberschwingungen $U_{n2} \dots U_{n25}$	$<$ Grenzwert nach EN 50160 und THD $< 8$ % während $> 95$ % einer Woche
Zwischenharmonische	in Beratung
Signalspannungen	$<$ Normkennlinie = $f(f)$ während $\geq 99$ % eines Tages
Spannungseinbrüche	Anzahl $< 10 \dots 1.000$ /Jahr; davon $> 50$ % mit $t < 1$ s und $\Delta U_{10\text{ms}} < 60$ % $U_{\text{nenn}}$
Kurze Spannungsunterbrechungen	Anzahl $< 10 \dots 1.000$ /Jahr; davon $> 70$ % mit Dauer $< 1$ s
Lange Spannungsunterbrechungen	Anzahl $< 10 \dots 50$ /Jahr mit Dauer $> 3$ min
Zeitweilige Überspannung (L-N)	Anzahl $< 10 \dots 1.000$ /Jahr; davon $> 70$ % mit Dauer $< 1$ s
Transiente Überspannung	$< 6$ kV; $\mu\text{s} \dots \text{ms}$

Tabelle 4: Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen, Quelle: In Anlehnung an Siemens AG (2015), S. 73

### 3.1.3 Operative Versorgungssicherheit

Unter ‚operativer Versorgungssicherheit‘ werden alle betriebsbedingten Maßnahmen verstanden, etwa Netzbetrieb, Instandhaltung und Redispatch-Maßnahmen.<sup>47</sup> Einen wesentlichen Einfluss auf die operative Versorgungssicherheit haben demnach insbesondere das qualifizierte Personal und die Möglichkeiten der Betriebsführung, wie beispielsweise Fernwirkssysteme und Schaltmöglichkeiten, sowie die gesamte Koordination des Netzbetriebs.

### 3.1.4 Kommerzielle Qualität

Die kommerzielle Qualität ist dem nichttechnischen Bereich zuzuordnen und umfasst alle Transaktionen zwischen einem Elektrizitätsunternehmen und den Kunden. Es steht also die Kundenbeziehung im Vordergrund.<sup>48</sup> Die kommerzielle Qualität wird in der vorliegenden Arbeit nicht näher behandelt.

### 3.1.5 Langfristige Versorgungssicherheit

Unter ‚langfristiger Versorgungssicherheit‘ wird die Notwendigkeit verstanden, ausreichende Erzeugungskapazitäten und Netze vorzuhalten. Sie wird auch regelmäßig von der E-Control über ein Monitoring bewertet.<sup>49</sup> Für eine langfristige Versorgungssicherheit muss einerseits konkretes Wissen über den Energiebedarf und die Lastflüsse im Netz vorhanden sein. Andererseits müssen Energieversorger anhand von Prognosen und Szenarien konkrete Strategien zur Sicherstellung der langfristigen Versorgungssicherheit aufstellen und umsetzen.

<sup>47</sup> E-Control, Onlinequelle [05.09.2021 b]

<sup>48</sup> Crastan und Westermann (2018), S. 202

<sup>49</sup> E-Control, Onlinequelle [05.09.2021 e]

### 3.1.6 Energielenkung

Unter Energielenkung fällt die Krisenvorsorge gegenüber „krisenhaften Entwicklungen bzw. Situationen“. Im Energielenkungsgesetz von 2012 sind die Maßnahmen und Ziele definiert. Die Maßnahmen können auf der Erzeugerseite sowie auf der Verbraucherseite durchgeführt werden. Sie können z. B. in regionalen Abschaltungen oder in Kontingentierung bestehen. Die E-Control ist für die Krisenvorsorge zuständig und darf darüber hinaus auch Daten über die Krisenvorbereitung von EVUs einfordern.<sup>50</sup>

## 3.2 Ursachen und Risiken für Versorgungsunterbrechungen

Versorgungsunterbrechungen können in geplante und ungeplante Unterbrechungen unterteilt werden. Bei einer geplanten Versorgungsunterbrechung muss der Kunde rechtzeitig im Voraus über eine Abschaltung informiert werden. Zu einer ungeplanten Versorgungsunterbrechung kommt es durch äußere Einflüsse, Anlagenausfälle oder andere Störungen.<sup>51</sup> Nach der E-Control werden die Unterbrechungsursachen in folgende Kategorien gegliedert:

**Atmosphärische Einwirkungen:** Bei diesen handelt es sich um Gewitter, Schnee, Eis, Stürme, gefrierenden Regen, Feuchtigkeit, Kälte, Hitze, Lawinen, Erdbeben, Felssturz und andere naturbedingte Ursachen.<sup>51</sup>

**Fremdeinwirkung:** Dies sind Störungen, die durch Dritte (dem Netzbetreiber nicht zuzurechnende Personen), Baggerarbeiten, Fahrzeuge, Tiere, Baumfällung, Flugobjekte, Brand (fremdverursacht), Vandalismus oder Sonstiges verursacht wurden.<sup>45</sup>

**Netzbetreiberintern:** Die Ursache für diese Störungen liegt beim Netzbetreiber, z. B. Fehlfunktionen, Fehlschaltungen sowie Ausfälle, Alterung oder auch Überlastung von Betriebsmitteln.<sup>45</sup>

**Versorgungsausfall/Rückwirkungsstörungen:** Diese Störungen werden durch Netze verursacht, die nicht in der Zuständigkeit des betrachteten Netzbetreibers liegen.<sup>45</sup>

**Regional Außergewöhnliches Ereignis (RAE):** Ursachen für eine Versorgungsunterbrechung, die in einer Region unwahrscheinlich und unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte nicht vermeidbar sind, sind als RAE zu klassifizieren. Solche Ereignisse sind z. B. schwere Erdbeben und orkanartige Stürme, aber auch massive Überschwemmungen.<sup>45</sup>

## 3.3 Rechtliche Grundlagen

Im Verlauf der Arbeit wurden bereits mehrfach die Komplexität des elektrischen Energiesystems und das Zusammenspiel der unterschiedlichen Marktakteure aufgezeigt. Für eine sichere und zuverlässige Stromversorgung wird daher ein umfangreiches Regelwerk benötigt. Im folgenden Kapitel werden die wesentlichen Nachschlagewerke beschrieben.

---

<sup>50</sup> E-Control, Onlinequelle [05.09.2021 d]

<sup>51</sup> E-Control (2019), S. 8

**ELWOG:** Das im Jahr 1999 erstmals verabschiedete Elektrizitäts-Wirtschaft-Organisationsgesetz (ELWOG) bildet die rechtliche Grundlage für die Liberalisierung des österreichischen Strommarkts mit der Entflechtung von Erzeugung, Übertragungsnetz, Verteilungsnetz und Stromhandel.<sup>52</sup> Das Gesetz umfasst die Bereiche der Organisation der Elektrizitätswirtschaft sowie Preisbildung und Rechnungslegung. In diesem Gesetz sind auch die Rechte und Pflichten der Netzbetreiber festgelegt. Dieser Abschnitt umfasst u. a. die Regelung des Netzzugangs sowie die Qualitätsstandards für die Netzdienstleistung.<sup>53</sup> Für das Land Steiermark wird die Organisation der Elektrizitätswirtschaft durch das **StELWOG** (Steiermärkisches Elektrizitätswirtschafts- und Organisationsgesetz) geregelt.<sup>54</sup>

**TOR:** Die Technischen und organisatorischen Regeln gelten sowohl für Netzbetreiber als auch für Benutzer des österreichischen öffentlichen Stromnetzes. In dem Regelwerk gemäß dem Energie-Control-Gesetz wird das Ziel verfolgt, eine adäquate Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Zudem soll der Verbundbetrieb zwischen Erzeugern, Übertragungs- und Verteilnetzen und Netzbenutzern störungsfrei und unter fairen Wettbewerbsbedingungen erfolgen.<sup>55</sup> Wesentlich in den TOR ist, dass in Anlehnung an die RfG-VO (Requirements for Generators) zur Festlegung von Netzanschlussbestimmungen für Stromerzeuger zwischen unterschiedlichen Erzeugungsanlagen (Typ A bis D) unterschieden wird. Je nach Größe kann der Netzbetreiber für den Netzanschluss der Erzeugungsanlage entsprechend umfangreiche Anforderungen vorschreiben. Diese reichen von der Frequenzhaltung über automatische Regelungssysteme (Blind- und Wirkleistung) und Fernwirktechnik bis zu umfangreichen Betriebsführungs- und Stabilitätsanforderungen.<sup>56</sup>

### 3.4 Elemente der Versorgungssicherheit

In der Literatur gibt es keine einheitliche Darstellung der Elemente der Versorgungssicherheit. Einen Ansatz hierfür liefert eine Conseil-International-des-Grands-Réseaux-Électriques(CIGRÉ)-Schrift aus 1987. In dieser werden die Elemente der Versorgungssicherheit einerseits in die Systemadäquanz, und andererseits in die Systemsicherheit und -stabilität eingeteilt. Die Systemadäquanz beinhaltet die planerischen Aspekte der Versorgungssicherheit. Es muss langfristig sichergestellt werden, dass der Bedarf nach elektrischer Energie gedeckt werden kann. Die Begriffe der Systemsicherheit und -stabilität umfassen den Bereich des Systembetriebs. Damit eine unterbrechungsfreie Stromversorgung gewährleistet werden kann, müssen Störungen vermieden werden bzw. es muss dynamisch darauf reagiert werden.<sup>57</sup> Eine Darstellung der Elemente der Versorgungssicherheit wird in Abbildung 5 gezeigt. Entsprechend der Klassifizierung der Deutschen Energie-Agentur werden die einzelnen Elemente wie folgt beschrieben.

---

<sup>52</sup> Brauner (2016), S. 153

<sup>53</sup> BGBl. I Nr. 110/2010 (2010), 1. Teil

<sup>54</sup> LGBl. Nr. 70/2005 (2022), 1. Teil

<sup>55</sup> E-Control, Onlinequelle [30.04.2022 a]

<sup>56</sup> E-Control, Onlinequelle [30.04.2022 b]

<sup>57</sup> Albrecht et al. (1987), S. 13-14

**Erzeugungsadäquanz – Sicherstellung der Stromproduktion:** Als Basis der Systemadäquanz muss ausreichend gesicherte Leistung vorhanden sein, damit die Nachfrage nach elektrischer Energie jederzeit gedeckt werden kann.<sup>58</sup>

**Netzadäquanz – Vorhalten erforderlicher Transportkapazitäten:** Damit die benötigte elektrische Energie jederzeit für den Kunden verfügbar ist, müssen genügend Transportkapazitäten vorhanden sein, um die Energie vom Erzeuger zum Kunden zu transportieren.<sup>58</sup> Durch die zunehmende Integration regenerativer Energien übersteigen die Anforderungen an die Netzadäquanz die Netzplanung.<sup>59</sup>

**Systemdienstleistungen – Beherrschung betriebsüblicher Vorgänge:** Damit die technischen Grenzwerte im Betrieb eingehalten werden, sind Systemdienstleistungen von wesentlicher Bedeutung. Diese Dienstleistungen sind vor allem dafür verantwortlich, dass die physikalischen Stromflüsse auch dem Handelsergebnis der Strommärkte gerecht werden. Als betriebsübliche Vorgänge gelten u. a. Lastschwankungen, der Ausfall eines Betriebsmittels, aber auch Erzeugungsausfälle. Die Aufgaben der Systemdienstleistungen umfassen im Wesentlichen die Betriebsführung, die Frequenz- und Spannungsregelung sowie den Netzwiederaufbau nach einem Störungsereignis.<sup>60</sup>

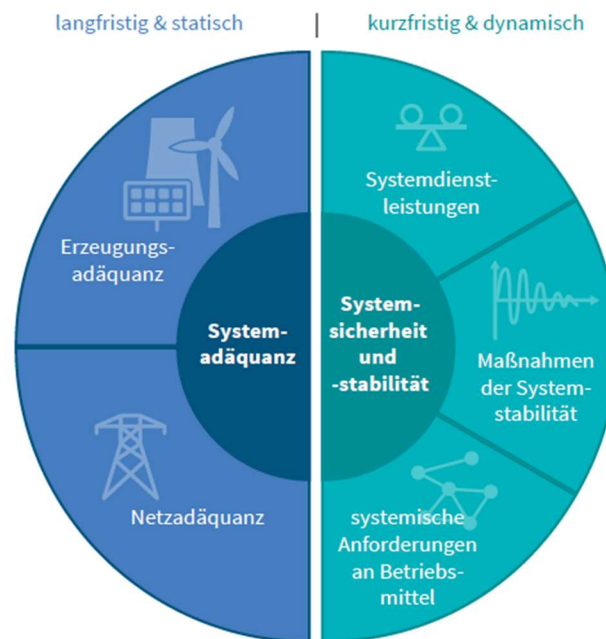


Abbildung 5: Klassische Elemente der Versorgungssicherheit, Quelle: Deutsche Energie-Agentur GmbH (2019), S. 2

**Maßnahmen der Systemstabilität – Aufrechterhaltung des Systembetriebs:** Damit es nicht zu großflächigen Stromausfällen kommt, muss das Elektroenergiesystem nach einem Störungsereignis stabilisiert werden. Die Maßnahmen sollen Ausfälle bzw. die Verbreitung von Ausfällen verhindern. Auf physikalischer Ebene müssen die Übergabe stationärer Zustände und das dabei auftretende Schwingungsverhalten beherrscht werden. Die Letztmaßnahme der Systemstabilität ist der

<sup>58</sup> Deutsche Energie-Agentur GmbH (2019), S. 2

<sup>59</sup> European Commission (2016), S. 28-30

<sup>60</sup> Deutsche Energie-Agentur GmbH (2019), S. 3

Systemschutzplan, der eine Frequenzbandüberschreitung- oder -unterschreitung, einen Spannungszusammenbruch sowie einen zu hohen Frequenzgradienten und den damit verbundenen Systemzusammenbruch verhindern soll.<sup>32</sup> Im Wesentlichen umfassen diese Maßnahmen in Österreich das koordinierte Zu- und Abschalten von Erzeugern und Verbrauchern.<sup>61</sup>

**Systemische Anforderungen an die technischen Fähigkeiten und Robustheit von Betriebsmitteln:** Scheitern alle Maßnahmen zur Verhinderung schwerwiegender Systemstörungen, dürfen Systemstörungen keinen Einfluss auf die Funktionsfähigkeit der einzelnen Betriebsmittel haben. Die eingesetzten Betriebsmittel in Elektroenergiesystemen müssen Widerstandsfähigkeit gegen Extremereignisse aufweisen sowie vor Überbeanspruchung geschützt werden.<sup>60</sup>

Einen systemtechnischen Ansatz zur Darstellung der Elemente der Versorgungssicherheit liefert das Institut für ‚ZukunftsEnergieSysteme‘. In Abbildung 6 werden die diversen Aspekte der Versorgungssicherheit aufgezeigt. Die wesentliche Aufgabe des Systems ist die bedarfsgerechte Bereitstellung elektrischer Energie. Aufgrund der räumlichen Trennung zwischen Verbraucher und Erzeuger muss der Transport erfüllt werden. Außerdem muss das Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Verbrauch eingehalten werden. Die technischen Mittel, Prozesse und Verantwortlichkeiten, die sowohl für den Transport als auch für die Einhaltung des Gleichgewichts notwendig sind, können als unterschiedliche zeitliche und räumliche Einheiten betrachtet werden.<sup>62</sup>

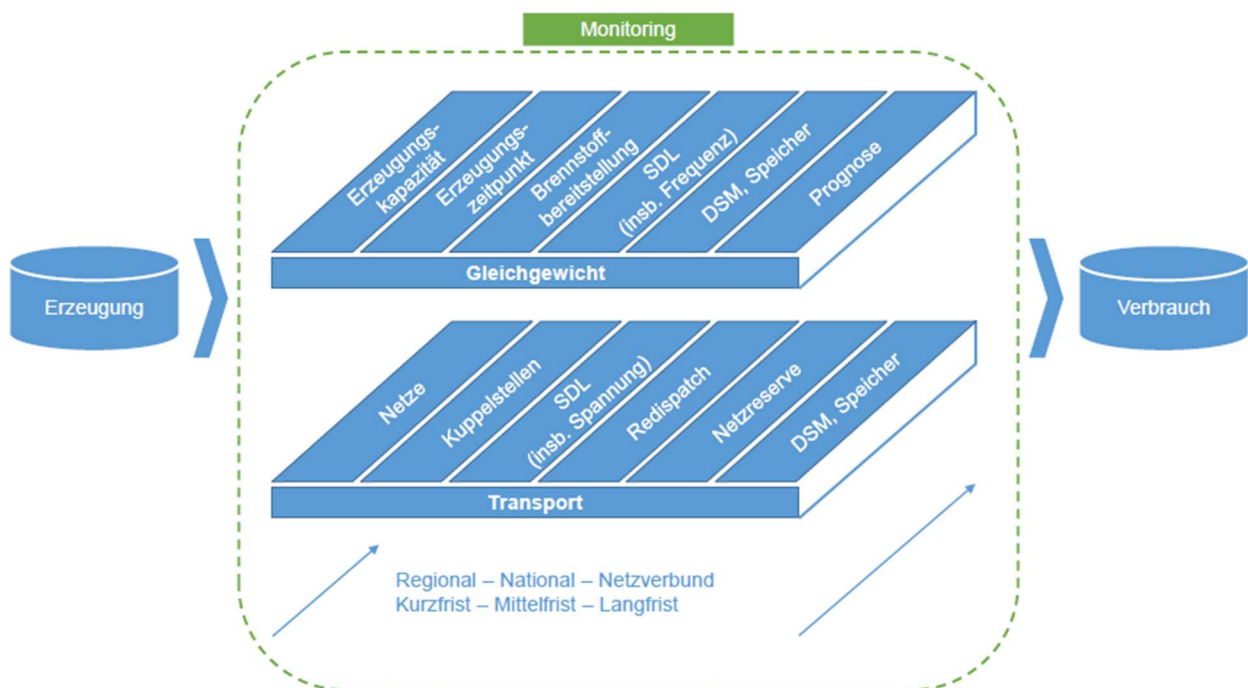


Abbildung 6: Elemente der Versorgungssicherheit, Quelle: Horst et al. (2016), S. 24

<sup>61</sup> ÖE/Experten Pool Defence Plan (2021), S. 2-4

<sup>62</sup> Horst et al. (2016), S. 24

## 4 TECHNOLOGIEFRÜHERKENNUNG UND -BEWERTUNG

### 4.1 Grundlagen zu Technologien

#### 4.1.1 Technologiebegriff

Der Technologiebegriff hat sich seit dem Aufkommen der Ingenieurwissenschaften im 18. Jahrhundert stetig weiterentwickelt.<sup>63</sup> Im gewöhnlichen Sprachgebrauch ist die Technologie allgegenwärtig. Eine einheitliche und allgemeingültige Definition des Technologiebegriffs gibt es nicht. Laut Zahn steht den verschiedenen Definitionen zufolge „Technologie für Anwendungswissen über technisch-naturwissenschaftliche Phänomene als Grundlage für die Entwicklung von Produkten und Prozessen“.<sup>64</sup>

Der Begriff ‚Technik‘ wird häufig als Synonym für den Begriff ‚Technologie‘ verwendet. Nach Goehrmann ist die Technik die „Umsetzung von Technologien in anwendbare Hardware oder Software“.<sup>65</sup> Für Tschirky kann die Technik als materialisierte Form von Technologie und damit als Subsystem von Technologie angesehen werden.<sup>66</sup> Gemäß den angeführten Definitionen der beiden Begrifflichkeiten wird in dieser Arbeit die Technik als nachgelagerte Realisierungsform der Technologie definiert.

#### 4.1.2 Klassifizierung von Technologien

Durch die Klassifizierung von in Unternehmen eingesetzten Technologien können Rückschlüsse über die Bedeutung und die zukünftige Entwicklung der Technologie gezogen werden. Einen eindeutigen Klassifizierungsansatz gibt es nicht, da die Einteilung nach verschiedenen Kriterien erfolgen kann. Mögliche Kriterien sind in Tabelle 5 aufgezählt. Es wird ersichtlich, dass sich viele dieser Kriterien überschneiden. Nach welchen Kriterien die Einteilung erfolgt, hängt vom Unternehmen und vom Ziel der Betrachtung ab. Durch eine geeignete Klassifizierung können in weiterer Folge Handlungsempfehlungen für das Management abgeleitet werden. In den nachfolgenden Kapiteln wird näher auf die klassischen sowie für die vorliegende Arbeit relevante Technologieklassifizierungen eingegangen.<sup>67</sup>

Kriterium	Ausprägung
Einsatzgebiet/Funktion	Produkt-, Produktions-, Materialtechnologien
Interdependenzen	System-, Einzeltechnologien
Branchenbezogene	Querschnitts-, spezifische Technologien
Unternehmensinterne	Kernkompetenz-, Randkompetenztechnologie
Grad des Produktbezugs	Kern-, Unterstützungstechnologie
Lebenszyklusphase	Schrittmacher-, Schlüssel-, Basistechnologien, verdrängte Technologien

Tabelle 5: Kriterien zur systematischen Einteilung von Technologien, Quelle: In Anlehnung an Gerpott (2005), S. 26-27

<sup>63</sup> Ropohl (2009), S. 30-32

<sup>64</sup> Zahn (1995), S. 4

<sup>65</sup> Goehrmann (2020), S. 1

<sup>66</sup> Binder und Kantowsky (1996), S. 89

<sup>67</sup> Gerpott (2005), S. 24-27



#### 4.1.2.1 Technologielebenszyklus

Eine der geläufigsten Methoden zur Klassifizierung ist die Einstufung nach dem Entwicklungsstadium bzw. ihrem Wettbewerbspotential. Nach Arthur D. Little können Technologien in drei typische Entwicklungsstufen unterteilt werden, nämlich in die Schrittmacher-, Schlüssel- und Basistechnologien.<sup>68</sup> Daneben gibt es noch eine vierte Entwicklungsstufe, jene der verdrängten Technologien.<sup>69</sup>

**Schrittmachertechnologien:** Technologien, die sich in einem frühen Entwicklungsstadium befinden, werden als ‚Schrittmachertechnologien‘ bezeichnet. Ihre Verbreitung auf dem Markt ist noch begrenzt. Die Entwicklung dieser Technologien ist unsicher, sie haben aber ein hohes Entwicklungspotential.<sup>68, 70</sup>

**Schlüsseltechnologien:** Diese Technologien sind bereits entwickelt, jedoch noch nicht allgemein verfügbar, und sie erfordern ein hohes Maß an Know-how. Die Beherrschung von Schlüsseltechnologien bietet erhebliche Wettbewerbsvorteile, da durch sie die Differenzierung von der Konkurrenz möglich wird. Zudem bestehen bei Schlüsseltechnologien beachtliches Weiterentwicklungspotential.<sup>68, 70</sup>

**Basistechnologien:** Basistechnologien haben sich bereits auf dem Markt etabliert. Da diese Technologieform von allen Akteuren nahezu gleichermaßen beherrscht wird, bieten Basistechnologien kaum Potential für Differenzierung.<sup>68, 70</sup>

**Verdrängte (bzw. bedrohte) Technologien:** Diese Technologien befinden sich in der Substitution und werden von neuen Technologien verdrängt.<sup>69, 70</sup>

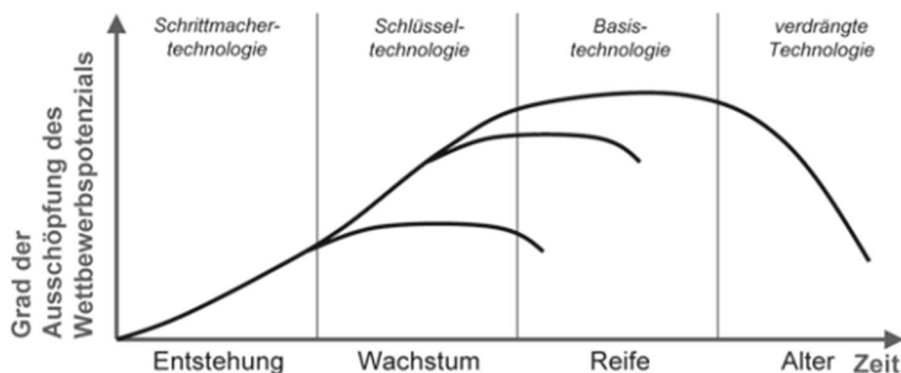


Abbildung 7: Lebenszyklusphasen einer Technologie von Arthur D. Little, Quelle: Schuh und Klappert (2011), S. 46

#### 4.1.2.2 Leistungszyklus (S-Kurven-Konzept)

Ein populärer Ansatz zur Klassifizierung von Technologien wird beim sogenannten S-Kurven-Konzept von McKinsey angewendet. Bei diesem Leistungszyklusmodell wird die Leistungsfähigkeit der Technologie in Relation zum Forschungs- und Entwicklungsaufwand (F&E) gesetzt. Die Einteilung der Technologien erfolgt nach ihrem Reifegrad in drei Kategorien, nämlich in die Kategorien der Schrittmacher-, Schlüssel-

<sup>68</sup> Little (1988), S. 38

<sup>69</sup> Gerpott (2005), S. 27, 114-116

<sup>70</sup> Gochermann (2020), S. 5-6

und Basistechnologien. Teilweise werden diese Klassen in der Literatur auch um die noch jungen Technologien (embryonische Technologien) ergänzt.<sup>72</sup>

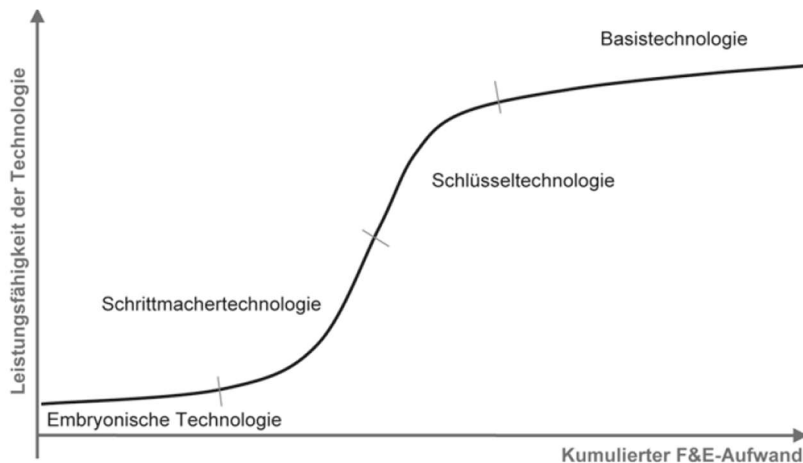


Abbildung 8: S-Kurven-Konzept zur Klassifizierung des technologischen Reifestadiums, Quelle: Schuh und Klappert (2011), S. 43

Eine Technologie hat das Ende ihres Zyklus erreicht, wenn sich die Leistungsfähigkeit einem Grenzwert nähert. In diesem Fall kann die Leistungsfähigkeit nur mehr bei einem Übergang (Technologiesprung) auf eine neue Technologie (Substitutionstechnologie) erreicht werden.<sup>71</sup>

### 4.1.2.3 Interdependenzen

Eine weitere Möglichkeit der Klassifizierung stellen Interdependenzen dar. Dabei erfolgt die Einteilung anhand der Beziehungen zwischen Technologien. Zu unterscheiden ist, ob es sich um Einzel- oder Systemtechnologien handelt. Insbesondere bei Letzteren eignet sich die Klassifizierung nach Interdependenzen, da mehrere Technologien in Abhängigkeit zueinander stehen. So lässt sich das Bündel an Technologien, aus denen die Systemtechnologie besteht, sehr gut darstellen.<sup>72</sup> In der weiteren Arbeit wird dieser Ansatz verwendet, um die Technologien entsprechend den Elementen der Versorgungssicherheit zu klassifizieren, die in gegenseitiger Abhängigkeit stehen.

## 4.2 Grundlagen des Technologiemanagements

Die Technologiefrüherkennung und die Technologiebewertung sind zentrale Aufgabenfelder des Technologiemanagements. Daher stellt das Technologiemanagement den theoretischen Bezugsrahmen für das vorliegende Kapitel dar. In diesem Abschnitt werden die Grundlagen dieser Managementdisziplin herausgearbeitet. Außerdem wird auf Ziele und die Bedeutung der Technologiefrüherkennung und der Technologiebewertung im Rahmen des strategischen Technologiemanagements eingegangen.

---

<sup>71</sup> Gerpott (2005), S. 118-119

<sup>72</sup> Schuh und Klappert (2011), S. 35-36

## 4.2.1 Einführung in das Technologiemanagement

Die heutige Welt ist erheblich von Technologie getrieben und diese rasante Entwicklung und die Implementierung neuer Technologien führen auch zu einem Umdenken in vielen Unternehmen. Für Unternehmen ist es von hoher Bedeutung, attraktive Technologien zu entwickeln bzw. zu adaptieren und diese sodann effizient einzusetzen. Neben den klassischen Managementaufgaben haben technologierelevante Fragestellungen und Entscheidungsprozesse einen zunehmend höheren Stellenwert. Nach Bullinger wird Technologiemanagement als „integrierte Planung, Gestaltung, Optimierung, Einsatz und Bewertung von technischen Produkten und Prozessen aus der Perspektive von Menschen, Organisation und Umwelt“ definiert.<sup>73</sup>

Das Technologiemanagement hat auch einen wesentlichen Stellenwert im Innovationsmanagement sowie im Innovationsalltag eines Unternehmens. So hat das Technologiemanagement „die Aufgabe, für künftige Leistungen die benötigten Technologien zum richtigen Zeitpunkt und zu angemessenen Kosten verfügbar zu machen“.<sup>74</sup> Das Technologiemanagement kann im Rahmen eines Innovationsprozesses als Teildisziplin des Innovationsmanagements eingeordnet werden.<sup>75, 76</sup>

Die Zuordnung der Technologiefrüherkennung und der Technologiebewertung ist nicht eindeutig, da in der Literatur unterschiedliche Technologiemanagementprozesse beschrieben werden. Zahn stellt das strategische Technologiemanagement als Prozessmodell mit den Phasen **Technologieentstehung** → **Technologiefrüherkennung** → **Technologiebewertung** → **Technologietransfer** → **Technologieakzeptanz** → **Technologienutzung** → **Technologiereife** → **Technologieablösung** dar. Die einzelnen Phasen werden nach Zahn (1995) wie folgt beschrieben:<sup>77</sup>

**Technologieentstehung:** „Schaffung und Nutzung von technologischem Wissen durch das Management von Innovations- und Lernprozessen.“

**Technologiefrüherkennung:** „Systematische Beobachtung und Analyse des Technologiemarkts zur frühzeitigen Bereitstellung von Informationen über Chancen und Risiken neuer technologischer Entwicklungen.“

**Technologiebewertung:** „Spezifizierung der technologierelevanten Informationsbasis durch eine Bewertung der identifizierten Technologien hinsichtlich ihres Einsatzpotentials in Produkten und Prozessen unter Berücksichtigung markt-, kunden- und unternehmensspezifischer Gesichtspunkte.“

**Technologietransfer:** „Zusammenführung von Geschäfts- und Technologieplanung, Ausarbeitung von Technologiestrategien, Überführung der Technologiestrategien in die operativen Bereiche.“

---

<sup>73</sup> Bullinger (1994), S. 39

<sup>74</sup> Gochemann (2020), S. 2

<sup>75</sup> Macharzina und Wolf (2018), S. 745

<sup>76</sup> Specht et al. (2002), S. 16

<sup>77</sup> Zahn (1995), S. 22-25

**Technologieakzeptanz:** „Beseitigung markt- und unternehmensseitiger Widerstände gegenüber neuen Technologien durch akzeptanzfördernde Maßnahmen im Unternehmen, auch in Verbindung mit Wettbewerbern oder Kunden“.

**Technologienutzung:** „Konsequente Technologieanwendung gemäß der ausgearbeiteten Technologie- und Markteinführungsstrategie“.

**Technologiereife:** „Rechtzeitige Substitution veralteter Technologien durch leistungsfähige Technologie-Generationen“.

Beim vorliegenden Prozessmodell wird die Technologiefrüherkennung der zweiten Phase des strategischen Technologiemanagements zugeordnet. In anderen Modellen entsprechend Abbildung 9 steht die Technologiefrüherkennung am Beginn des Technologiemanagements. Der Technologiebewertung kommt hingegen über sämtliche Phasen des Technologiemanagements Relevanz zu.

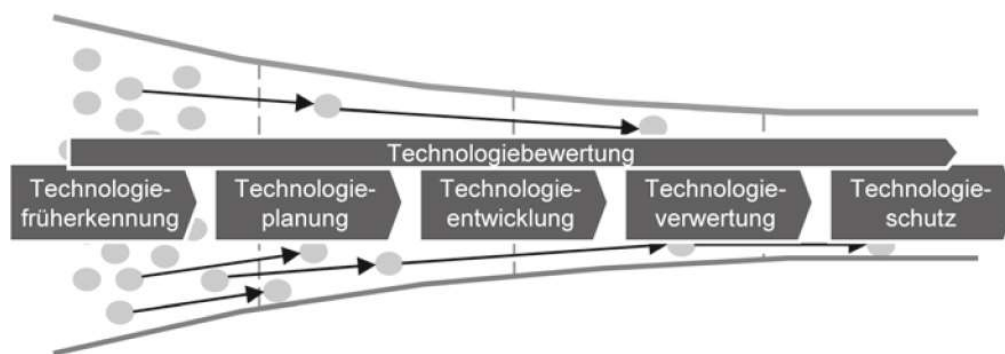


Abbildung 9: Konzeption und Gestaltung des Technologiemanagements, Quelle: Schuh und Klappert (2011), S. 95

## 4.2.2 Technologiefrüherkennung

Wie bereits im vorhergehenden Kapitel beschrieben, steht die Technologiefrüherkennung am Beginn des Technologiemanagements. Das Ziel bei der Technologiefrüherkennung ist es, „technologierelevante (schwache) Signale im Unternehmensumfeld frühzeitig aufzunehmen und zu interpretieren, um bei Entscheidungen über technologische Innovationsaktivitäten des Unternehmens schneller als die Wettbewerber auf Informationen zugreifen zu können“.<sup>78</sup> Dabei beruht die Technologiefrüherkennung auf vier wesentlichen Prozessschritten, die in Abbildung 10 aufgezählt und beschrieben sind.<sup>79</sup>

Zu Beginn des Prozesses muss der Informationsbedarf konkret bestimmt werden. Diese Phase ist insbesondere von den verfügbaren Ressourcen des Unternehmens abhängig.<sup>80</sup> Im nächsten Schritt müssen Signale über Veränderungen aus dem technologischen Unternehmensumfeld erfasst werden. Diese Signale können Informationen über neue Anwendungen oder Entwicklungspotentiale einer bestehenden Technologie sein. Zudem muss nach neuen Technologien und deren Auswirkungen gesucht werden. Außerdem sind Informationen über politische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Veränderungen

---

<sup>78</sup> Gochermann (2020), S. 37

<sup>79</sup> Schuh und Klappert (2011), S. 112

<sup>80</sup> Gassmann (2006), S. 315

zusammenzutragen. Anschließend werden die gesammelten Informationen bewertet und verdichtet. Dies kann mit qualitativen oder quantitativen Maßnahmen erfolgen, die im Verlauf dieser Arbeit näher beschrieben werden. Die Bewertung dient dazu, mögliche Einsatzgebiete, zeitliche Entwicklungslinien sowie den Aufwand zur Realisierung der identifizierten Technologien abzuschätzen. Abschließend müssen die Informationen zielgerichtet im Unternehmen verteilt werden.<sup>81</sup>

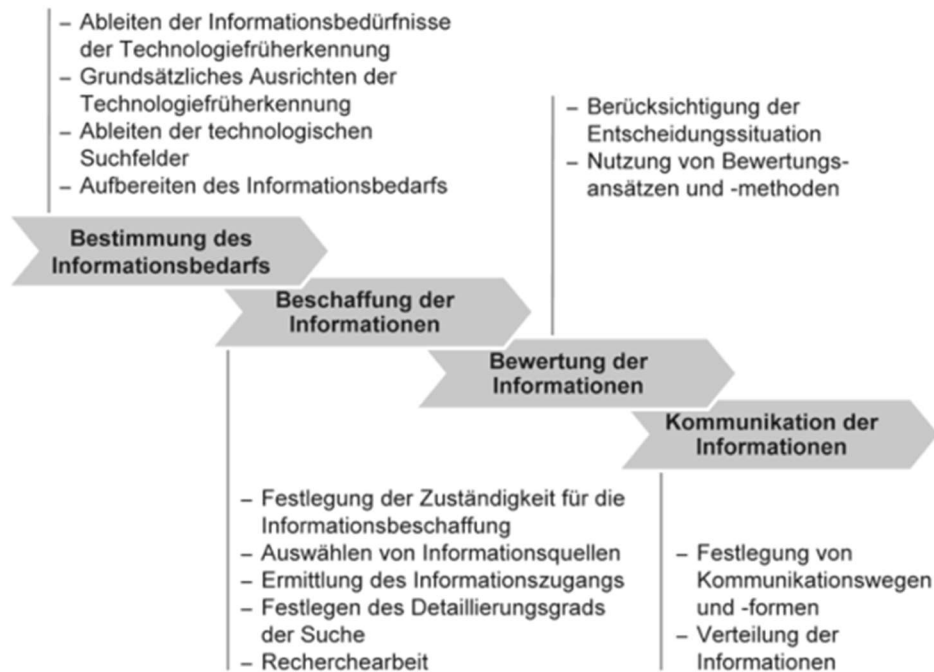


Abbildung 10: Technologiefrüherkennungsprozess, Quelle: Schuh und Klappert (2011), S. 112

### 4.2.3 Technologiebewertung

Die Technologiebewertung stellt eines der bedeutendsten Elemente des Technologiemanagements dar, da sie in sämtlichen Phasen des Technologiemanagements von Relevanz ist. Die Technologiebewertung kann definiert werden als „die Ermittlung und Beurteilung des Erfüllungsgrades vorgegebener Zielstellungen oder -zustände für ein bestimmtes technologiebezogenes Bewertungsobjekt, um Entscheidungen bei der Entwicklung, Einführung und Nutzung von Technologien treffen zu können“.<sup>82</sup> Zur Bewertung können unternehmensinterne Informationen eingeholt werden, anhand derer Erkenntnisse über die Auswirkung der Technologie auf das Unternehmen zu gewinnen sind. Die Informationen können zur Einschätzung der relativen Zukunftsrelevanz auch aus externen Quellen stammen.<sup>83</sup> Erfolgreiches und effektives Technologiemanagement ist dadurch gekennzeichnet, dass die gesammelten Informationen angepasst an die jeweilige Entscheidungssituation bewertet werden. Nur so können angemessene Entscheidungen über die Entwicklung, die Einführung oder die Nutzung von Technologien getroffen werden.<sup>82</sup>

---

<sup>81</sup> Schächli (2005), S. 174-180

<sup>82</sup> Schuh und Klappert (2011), S. 17

<sup>83</sup> VDI Technologiezentrum (1992), S. 73

In der VDI-Richtlinie 3780 wird die Thematik der Technologiebewertung behandelt und es werden dieser noch weitere Aufgabengebiete zugeordnet. Gemäß der Richtlinie ist Technikbewertung als „das planmäßige, systematische, organisierte Vorgehen, so dass begründete Entscheidungen ermöglicht und gegebenenfalls durch geeignete Institutionen getroffen und verwirklicht werden können“. <sup>84</sup> Dabei werden gemäß VDI folgende demonstrativ angeführten Themen behandelt:

- „Den Stand einer Technik und ihre Entwicklungsmöglichkeiten analysiert.“<sup>84</sup>
- „Unmittelbare und mittelbare technische, wirtschaftliche, gesundheitliche, ökologische, humane, soziale und andere Folgen dieser Technik und möglicher Alternativen abschätzt.“ <sup>84</sup>
- „Aufgrund definierter Ziele und Werte diese Folgen beurteilt oder auch weitere wünschenswerte Entwicklungen fordert“. <sup>84</sup>
- „Handlungs- und Gestaltungsmöglichkeiten daraus herleitet und ausarbeitet“. <sup>84</sup>

Demzufolge ist die Technikfolgeabschätzung bei der Technologiebewertung von hoher Bedeutung. Bei dieser werden die Risiken, aber auch die Chancen einer Technologie bewertet und einander gegenübergestellt. <sup>85</sup> Die Technologiebewertung insgesamt ist bei der Unterstützung von Entscheidungsprozessen wesentlich. Durch Bewertungsmethoden, die eine „inhärente Systematik aufweisen, soll die Qualität der Entscheidungen und damit die Wahrscheinlichkeit des Handlungserfolgs gesteigert werden“. <sup>82</sup> Die Systematik und die Vorgehensweise bei der Technologiebewertung werden in der Literatur nicht einheitlich beschrieben. Der Ablauf besteht aber im Wesentlichen aus den Phasen der Informationsbeschaffung und der Bewertung. <sup>86</sup>

### 4.3 Methoden der Technologiefrüherkennung und -bewertung

Der Prozess der Technologiefrüherkennung sowie der -bewertung sollte immer methodengestützt sein. Dadurch können die Prozesse systematisch und strukturiert abgearbeitet werden und es wird die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse gewahrt. <sup>87,88</sup> Wie bereits in Kapitel 4.2 beschrieben, ist die Technologiebewertung ein zentraler Bestandteil sämtlicher Phasen des Technologiemanagements und damit auch der Technologiefrüherkennung. Daher überschneiden sich die einzelnen in der Literatur beschriebenen Methoden zur Technologiefrüherkennung und -bewertung in hohem Maß bzw. sind diese nicht eindeutig voneinander abzugrenzen, was in Tabelle 6 gezeigt wird. Daher werden im folgenden Kapitel die Methoden beschrieben, die in der Technologiefrüherkennung und -bewertung Anwendung finden und für die vorliegende Arbeit relevant sind.

---

<sup>84</sup> VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. (Hrsg.) (2000), S. 2-3

<sup>85</sup> Bullinger (1994), S. 49-50

<sup>86</sup> Schuh und Klappert (2011), S. 314

<sup>87</sup> Geschka (1995), S. 630

<sup>88</sup> Bullinger (1994), S. 55

**Methodenübersicht**

Technologiefrüherkennung	Technologiebewertung
Experteninterview	Experteninterview
Technologie Readiness Level	Technologie Readiness Level
Delphi-Studien	Delphi-Studien
S-Kurvenanalysen	S-Kurven-Analyse
Szenarien	Szenarienanalyse
Patentanalyse	Patentportfolio
Roadmaps	Morphologischer Kasten
Portfolioanalyse	Technologieportfolio
Trendextrapolation	Trendextrapolation
Trendanalyse	Funktionalmarktkonzept
Kreativitätstechniken	Kreativitätstechniken
Erfahrungskurve	Nutzwertanalyse
Publikationsanalyse	Verflechtungsmatrix
Simulationen	Simulationen
Benchmarking	Technologische Indikatoren
Lead-User-Analyse	Technologische Listen
Konferenzanalysen	Kosten-Nutzen-Analyse
Optionspreismodelle	Historische Analogiebildung
Quality Function Deployment (QFD)	Risikoanalyse
Internet-Suchsystem	Suchfeldanalyse
Relevanzbaumanalysen	Relevanzbaumanalysen

Tabelle 6: Methodenübersicht zur Technologiefrüherkennung und -bewertung, Quellen: Möhrle (2007), S. 69, Lichtenthaler (2004), S. 130, Gochermann (2020) S. 46–47, VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. (Hrsg.) (2000), S. 31, Pfeifer und Weiß (1995), S. 669

### 4.3.1 Expertenbefragungen

Im Rahmen der Technologiefrüherkennung ist die Befragung von Experten eine praktikable Methode, um technologierelevante Informationen zu erhalten, insbesondere, um belastbare Prognosen über zukünftige Entwicklungen von Technologien zu erstellen.<sup>89</sup> Die Expertenvorhersagen sind erheblich von den subjektiven Wahrnehmungen der Experten geprägt.<sup>90</sup> Diese verfügen durch ihre Ausbildung, ihre Erfahrungen, ihr Netzwerk oder aufgrund ihrer Forschungstätigkeiten über Insiderinformationen und fachspezifisches Know-how.<sup>91</sup> In der Literatur werden je nach Art der Befragung und Anzahl der Experten unterschiedliche Formen von Expertenbefragungen beschrieben, die sowohl schriftlich als auch mündlich durchgeführt werden können.<sup>90</sup> Mögliche Formen von Expertenbefragungen sind Expertenworkshops, die Delphi-Umfrage oder Einzelbefragungen, wobei auf die letztgenannte Methode näher eingegangen wird.<sup>89,91</sup>

**Einzelbefragungen:** Hierbei werden die Experten in Einzelgesprächen befragt. Um detaillierte und zielführende Informationen von den Befragten zu erhalten, werden die Fragestellungen von Gespräch zu

<sup>89</sup> Gochermann (2020), S. 39

<sup>90</sup> Möhrle (2007), S. 96

<sup>91</sup> Geschka (1995), S. 631

Gespräch vertieft bzw. angepasst.<sup>91</sup> Wesentlich ist auch die Vorbereitung auf das Einzelgespräch. So wird z. B. beim sogenannten semistrukturierten Interview ein Teil der Fragen schon vor der Befragung übergeben und im Idealfall auch schon vom Experten beantwortet. So kann während des Interviews noch ausführlicher auf die Thematik eingegangen werden.<sup>92</sup> Die Befragungen müssen vollständig dokumentiert und abschließend zusammengefasst werden.<sup>91</sup> Zur Zusammenfassung bzw. Auswertung von Einzelbefragungen hat sich die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring als geeignete Methode bewährt.<sup>93</sup>

**Qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring:** Die Methode von Mayring bietet ein Regelwerk, um Interviews strukturiert auswerten zu können. In Abbildung 11 ist das Vorgehensmodell dargestellt. Beginnend mit dem ersten Schritt werden die Charakteristika und die Form des Datenmaterials beschrieben (z. B. Interviewtranskripte). Im zweiten Schritt wird die ‚Richtung der Analyse‘ vorgegeben (z. B. der Textproduzent/Experte). Den wesentlichen Kern der Analyse stellt der letzte Schritt dar, der in der Definierung eines Kategoriensystems besteht, nach dem die Aussagen analysiert werden.<sup>93</sup> In der vorliegenden Arbeit wurde die Kategorisierung nach Trends sowie nach den Elementen der Versorgungssicherheit angewendet. Darauf wird im Verlauf der Arbeit noch näher eingegangen.



Abbildung 11: Ablaufmodelle der Inhaltsanalyse nach Mayring. Quelle: In Anlehnung an Philipp Mayring (2010), S. 52

### 4.3.2 Brainstorming

Brainstorming ist eine Kreativitätstechnik, die zur intuitiven, unstrukturierten Ideenfindung anregen soll. Diese Methode führt häufig zu unkonventionellen Ideen oder Lösungsvorschlägen, beispielsweise neuen Konzeptionen eines geplanten Technologieeinsatzes. Das Brainstorming wird in einem kleinen, heterogenen Teilnehmerkreis durchgeführt. Die Teilnehmer sollen dabei offen und spontan auf eine konkrete Frage oder Problemstellung reagieren.<sup>94</sup> Die Qualität der Ergebnisse hängt insbesondere von der Trennung der Phase der Ideengenerierung und jener der Ideenbewertung ab. So müssen diese Phasen strikt getrennt werden bzw. es soll bei der Ideengenerierung nur auf die positiven Aspekte der Idee eingegangen werden. Dadurch kann ein „kontinuierlicher Gedankenfluss, frei von etwaigen Hemmnissen“ garantiert werden.<sup>95</sup>

### 4.3.3 Technology Readiness Level

Das Technology Readiness Level (TRL) ist ein von der NASA entwickeltes Konzept zur Beschreibung des Reifegrades einer Technologie.<sup>96</sup> Es eignet sich insbesondere zur Beschreibung der Marktnähe von

---

<sup>92</sup> Adams (2010), S. 492-494

<sup>93</sup> Mayring (2010), S. 52, 114

<sup>94</sup> Zweck (2005), S. 188

<sup>95</sup> Vahs und Brem (2015), S. 288

<sup>96</sup> Mankins (1995), S. 1-5



Technologien und damit zur Einschätzung des Entwicklungsbedarfs. Die Technologien werden dabei in neun TRL-Stufen eingeordnet. Die Stufen beginnen mit der Beschreibung des Funktionsprinzips und reichen bis zum Einsatz der Technologie in der Praxis.<sup>97</sup> In Abbildung 12 werden die einzelnen Stufen des TRL dargestellt und erklärt.

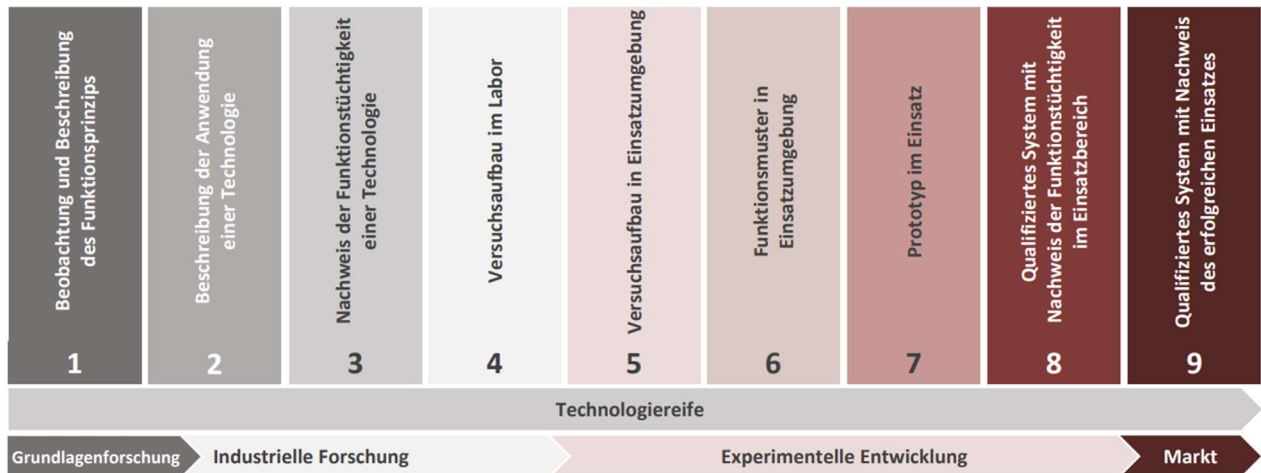


Abbildung 12: Technologiereifegrade, Quelle: Kind et al. (2018), S. 3

#### 4.3.4 Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse basiert auf einem „entscheidungstheoretischen, multikriteriellen Modell“ und dient dazu, komplexe Bewertungsvorgänge vereinfacht und strukturiert durchzuführen. Dabei werden sowohl quantitative als auch qualitative Analyseelemente herangezogen. Unter Berücksichtigung festgelegter, gewichteter Bewertungskriterien wird der Nutzwert technologischer Handlungsmöglichkeiten und Technologien bestimmt. Dabei erfolgt die Bewertung anhand skaliertes Zahlenwerte, die in eine Matrix eingetragen werden. Diese Zahlenwerte werden mit den Gewichtungsfaktoren der Bewertungskriterien multipliziert, um so den sogenannten Teilnutzen zu bestimmen. Die Teilnutzwerte werden zur Bestimmung des Gesamtnutzwerts der einzelnen Handlungsmöglichkeiten bzw. Technologien summiert.<sup>98</sup>

#### 4.3.5 Portfolioanalyse

Portfolioinstrumente sind ein häufig eingesetztes Managementinstrument, da damit übersichtliche Ergebnisse generiert werden, von denen Strategien abgeleitet werden können. Im Technologiemanagement wird klassischerweise das Technologieportfolio eingesetzt, in dem die Technologieattraktivität der eigenen relativen Technologiestärke (Ressourcenstärke) gegenübergestellt wird.<sup>99</sup>

In Abbildung 13 ist das Technologieportfolio nach Pfeiffer dargestellt, in dem für jede Dimension zwei Bewertungskriterien herangezogen werden: die Technologiepotentialrelevanz und die Technologiebedarfsrelevanz für die Dimension der Technologieattraktivität und die Finanzstärke und das

<sup>97</sup> Gochermann (2020), S. 47-48

<sup>98</sup> Zweck (2005), S. 191

<sup>99</sup> Gassmann (2006), S. 398-399

Know-how für die Dimension der Ressourcenstärke.<sup>100</sup> Die Werte der Dimensionen können über eine Nutzwertanalyse bestimmt werden. Dabei können jedoch auch andere Kriterien als jene nach Pfeiffer einfließen.<sup>99</sup> Üblicherweise sind diese Portfolios auch dadurch gekennzeichnet, dass daraus sogenannte Normstrategien abgeleitet werden können, die in Abbildung 13 dargestellt sind. Im Fall von Pfeiffer lautet diese, dass bei hoher Ressourcenstärke und hoher Technologieattraktivität in eine bestimmte Technologie investiert werden soll, um die Technologieführung weiter auszubauen. Von ‚unattraktiven‘ Technologien soll Abstand genommen werden (Desinvestieren).

Darüber hinaus gibt es einen Bereich, in dem selektiert werden muss. Liegen Technologien innerhalb dieses Bereichs, müssen sie einer näheren Betrachtung unterzogen werden, wobei die grundlegende Aussage lautet, dass Unternehmen versuchen, „interessante Technologien besser zu beherrschen, recht attraktive Technologien zu halten, sich aus den unattraktiven Technologien zurückziehen und vielleicht noch nicht so interessante Technologien hinsichtlich ihrer zukünftigen Attraktivität beobachten“ sollen.<sup>101</sup>

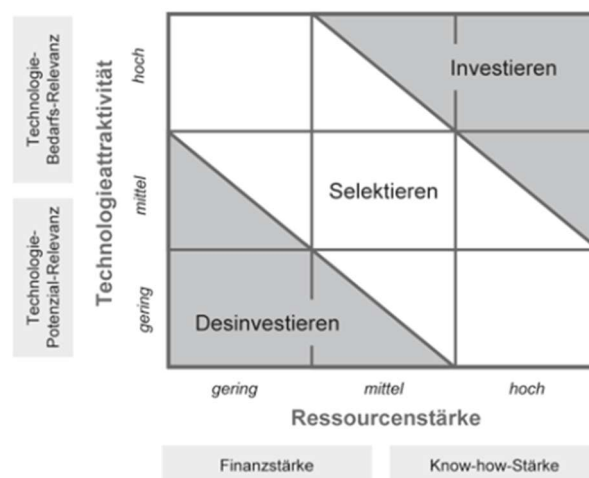


Abbildung 13: Technologieportfolio nach Pfeiffer, Quelle: Schuh und Klappert (2011), S. 334

#### 4.3.6 Szenarioanalyse

Mit der Szenarioanalyse können im Rahmen des Technologiemanagements technologische Entwicklungen und Wechselwirkungen erfasst, prognostiziert und systematisch zu konsistenten Szenarien verknüpft werden. „Die für technologische Entwicklungen typischen Sprünge und Durchbrüche, Unsicherheiten, alternativen Entfaltungs- und Anwendungsmöglichkeiten sowie die zum Teil nur qualitativ beschreibbaren Wirkungszusammenhänge lassen sich mit dieser Methodik problemlos behandeln.“<sup>102</sup>

In der Szenarioanalyse werden meist mehrere unterschiedliche Szenarien erarbeitet und so können alternative Handlungsoptionen abgeleitet werden,<sup>101</sup> um den Einsatz bzw. die Weiterentwicklung von Technologien besser zu planen. Damit ist die Szenarioanalyse ein geeignetes Werkzeug, um technologische Entwicklungen zu analysieren und zu bewerten (z. B. in Form einer Nutzwertanalyse).<sup>103</sup>

<sup>100</sup> Schuh und Klappert (2011), S. 333-334

<sup>101</sup> Gochermann (2020), S. 22-25, 41

<sup>102</sup> Geschka (1995), S. 640

<sup>103</sup> Möhrle (2007), S. 59-84

## 5 TECHNOLOGIEN DER VERSORGUNGSSICHERHEIT

Eines der wesentlichen Ansätze für die Versorgungssicherheit ist die Verstärkung und der Ausbau der Stromnetze. Innovative Technologien können dabei nicht nur die Versorgungssicherheit verbessern, sondern auch helfen die Kosten für die Netzentwicklung zu reduzieren. Eine Studie der Universität Wuppertal und der Siemens AG hat dazu ergeben, dass sich durch den Einsatz innovativer Maßnahmen die Kosten für den Netzausbau im Nieder- um 67 % und im Mittelspannungsnetz um bis zu 86 % reduzieren lassen.<sup>104</sup> Im nachfolgenden Unterkapitel werden daher wesentliche in der Literatur gelistete Technologien beschrieben, durch die ein Beitrag zur Versorgungssicherung geleistet wird. Neben der Erläuterung der Aufgaben und Ziele der einzelnen Technologieansätze werden in diesem Kapitel konkrete Anwendungen und Produkte aufgezählt.

### 5.1 Monitoring

Unter ‚Monitoring‘ wird die Erfassung von Messdaten aus dem Netz verstanden. Die Daten können Informationen über die Spannung, den Strom, den Leistungsbezug, aber auch über die Qualität der Spannung enthalten. Das Monitoring beinhaltet außerdem die Erfassung statistischer Daten wie die Zahl an Versorgungsunterbrechungen.<sup>105</sup> Die einzelnen Formen des Monitorings registrieren zwar unterschiedliche Daten, das wesentliche Ziel ist jedoch immer, die „Versorgungssicherheit zu akzeptablen Kosten zu gewährleisten“. <sup>106</sup> Die Formen des Monitorings können wie folgt zusammengefasst werden:

**Energie-Monitoring:** Beim Energie-Monitoring werden an den Messpunkten die Energiedaten erfasst, die im Wesentlichen aus Strom, Spannung und Wirkenergie bestehen. Zudem können weitere Messgrößen wie die Blindenergie oder der Leistungsfaktor erfasst werden.<sup>107</sup>

**Spannungsqualität (PQ/VQ)-Monitoring:** Beim Monitoring der Spannungsqualität werden die Parameter aus Kapitel 3.1.2 erfasst. Oft wird die Messung der Spannungsqualität von Netzbetreibern jedoch nur bei auftretenden Problemen oder im Zuge von Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt.<sup>105</sup>

**Versorgungsqualität (CoS)-Monitoring:** Hierbei erfolgt die Erfassung der Versorgungszuverlässigkeit anhand der Ausfallstatistiken.<sup>105</sup>

**WideArea-Monitoring:** Bei dieser modernen, satellitengestützten Form des Monitorings werden Phasenwinkel, Knotenspannungen und Ströme weiträumiger Netze erfasst. Diese Art des Monitorings dient vorwiegend als Frühwarnsystem für drohende Störungen.<sup>108</sup>

**Online-Monitoring:** Bei dieser Form des Monitorings wird der Zustand elektrischer Betriebsmittel in Echtzeit erfasst. Eine ausführliche Auseinandersetzung mit diesem Thema erfolgt in Kapitel 5.3.

---

<sup>104</sup> Zdrallek (2016), S. 99-100, 125-126

<sup>105</sup> Crastan und Westermann (2018), S. 216, 223, 232, 261-217, 232

<sup>106</sup> Niederhausen und Burkert (2014), S. 522

<sup>107</sup> Siemens AG (2021), S. 3

<sup>108</sup> Schwab (2015), S. 728

## 5.2 Regeleinrichtungen

### Blindleistungskompensationsanlagen

In Mittel- und Niederspannungsnetzen führen insbesondere Blindleistungsschwankungen zu Spannungsschwankungen. Die Blindleistungskompensationsanlagen können helfen, diese Spannungsschwankungen auszugleichen.<sup>109</sup> Dadurch kommt es zu einer Entlastung von Betriebsmitteln. Übertragungsverluste aufgrund kleinerer Scheinströme werden reduziert und die Versorgungsqualität wird erhöht.<sup>110</sup> Die Blindleistungskompensationsanlagen bestehen im Wesentlichen aus Kondensatoren und Spulen, die die Blindleistung anpassen und über Schaltgeräte zu- oder weggeschaltet werden. Daraus ergibt sich eine Festkompensationsanlage. In den meisten Fällen werden jedoch auch Regler verbaut, so dass eine variable Blindleistungskompensationsanlage entsteht. Diese variablen Anlagen können weiter in Stufen mit fixen Kondensatorbänken, aber auch kontinuierlich, z.B. mithilfe stufenlos regelbarer Induktivitäten angepasst. Der Vorteil der variablen Anlagen ist, dass sie die Blindleistung im Netz regeln und so dynamisch auf unterschiedliche Netzsituationen reagieren können.<sup>110</sup> Heute werden vor allem variable Blindleistungskompensationsanlagen für die Begrenzung von Anlaufströmen von Motoren<sup>109</sup> oder die Reduktion von Oberschwingungen aufgrund von Leistungselektronik eingesetzt, wie Umrichter für PV-Anlagen.<sup>110</sup>

### Zick-Zack-Transformatoren

Eine besondere Form des Transformators ist der sogenannte Zick-Zack-Trafo, der auch ‚Balancer‘ genannt wird. Bei gewöhnlichen Transformatoren im Verteilnetz kann es aufgrund der unsymmetrischen Belastungen durch z. B. einphasige Verbraucher auf der Sekundärseite des Transformators zu einer Schiefast kommen. Dabei können unzulässig hohe Spannungen in den weniger stark belasteten Phasen entstehen, die durch das Auftreten zusätzlicher Oberschwingung zu erheblichen Spannungsqualitätsproblemen führen. Der Einsatz eines Balancers ermöglicht durch die Ausführung einer Sternpunktanzapfung, das Spannungsdreieck zu symmetrieren (keine Spannungserhöhungen) und die unzulässigen Oberschwingungen zu kompensieren. Dabei ist zu erwähnen, dass der Zick-Zack-Transformator nicht über eine aktive Regelung verfügt. Diese ‚Ausregelung‘ von Spannungsunsymmetrien erfolgt dabei rein passiv ohne den Einsatz aktiver Regler.<sup>111,112</sup>

### Regelbare Transformatoren

In elektrischen Verteilnetzen kommt es aufgrund des zunehmenden Ausbaus dezentraler, nicht steuerbarer Energieerzeuger zu einer erhöhten Beanspruchung der eingesetzten Betriebsmittel.<sup>113</sup> In Abbildung 14 ist

---

<sup>109</sup> Crastan und Westermann (2018), S. 159, 175

<sup>110</sup> ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronidustrie e.V. (2013), S. 10-11

<sup>111</sup> Schwab (2015), S. 422-434

<sup>112</sup> Heuck et al. (2013), S. 145-146

<sup>113</sup> Wietschel et al. (2015), S. 197

diese Problematik dargestellt. Die hohe tägliche PV-Einspeisung führt wegen der hohen Stromeinspeisung in das lokale Ortsnetz zu einer unzulässigen Erhöhung der Netzspannung. Nachts kommt es aufgrund der hohen Ladeleistung von Elektrofahrzeugen zu einem Spannungseinbruch.<sup>114</sup>

Damit eine Überlastung des Netzes und Probleme mit der Spannungsqualität verhindert werden, kommen zunehmend regelbare Transformatoren zum Einsatz.<sup>113</sup> Diese können entsprechend Abbildung 15 die Spannung im Niederspannungsnetz den Netzverhältnissen anpassen. Kommt es tagsüber zu einer Spannungserhöhung aufgrund der hohen PV-Einspeisung, regelt der Transformator die Spannung nach unten. Gleiches geschieht nachts bei einem Spannungseinbruch aufgrund der überhöhten Ladeleistung von Elektrofahrzeugen.<sup>114</sup>

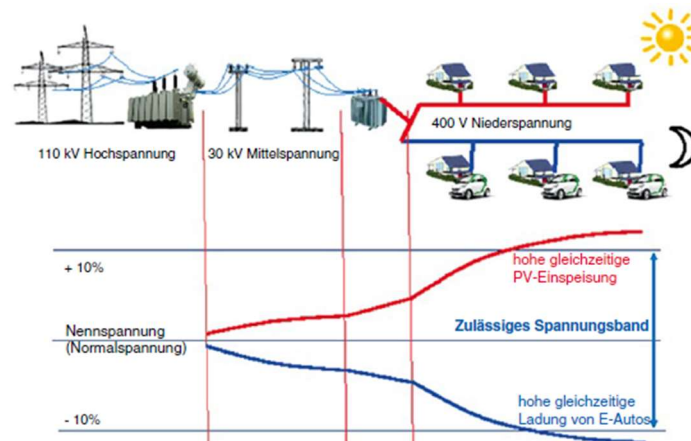


Abbildung 14: Verletzung des Spannungsbandes im Niederspannungsnetz, Quelle: Brauner (2016), S.124

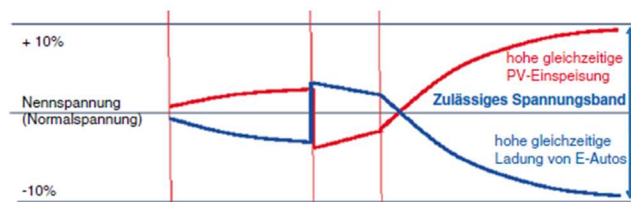


Abbildung 15: Einhaltung des Spannungsbandes durch einen geregelten Ortsnetztransformator, Quelle: Brauner (2016), S.124

## Spannungsstabilisatoren (Spannungskonstanthalter)

Die Problematik, bei den regelbaren Transformatoren erörtert wurde, kann auch mit Spannungskonstanthaltern bzw. Spannungsstabilisatoren gelöst werden. Daneben gibt es insbesondere im ländlichen Raum das Problem, dass es aufgrund der langen Netzausläufer zu einem erhöhten Spannungsabfall kommt.<sup>115</sup> Dies kann mit sogenannten Spannungskonstanthaltern verhindert werden. Bei diesen wird im Wesentlichen eine Zusatzspannung über einen seriellen Trafo erzeugt. In der Abbildung 16 ist die prinzipielle Darstellung eines Spannungsstabilisators skizziert. Alternativ können diese auch rein mechanisch ohne Umrichter oder auch optional mit Energiespeicher ausgestattet werden.

<sup>114</sup> Brauner (2016), S. 123-124

<sup>115</sup> Wietschel et al. (2015), S. 332

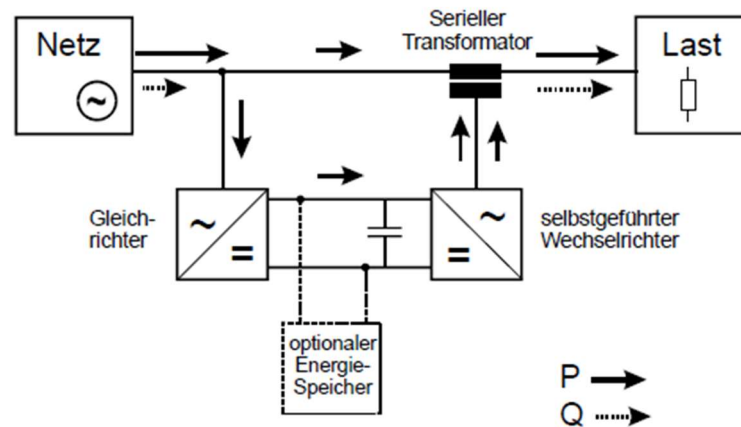


Abbildung 16: Prinzipdarstellung eines Spannungsstabilisators, Quelle: Renner und Sakulin (2008), S. 80

### FACTS (Flexible AC-Transmission System)

Als ‚flexible Drehstromübertragungssysteme‘ werden Betriebsmittel bezeichnet, die unter Einsatz leistungselektronischer Komponenten gezielt Lastflüsse beeinflussen können. Weiters können sie als Kompensationsanlagen verwendet werden und die Spannung sowie die Blindleistung gezielt anpassen. Damit sind FACTS flexibel einsetzbar. Sie eignen sich insbesondere zur Nachrüstung in einem bestehenden Netz, um die Übertragungskapazitäten zu erhöhen sowie aktiv die Spannungsqualität zu verbessern. FACTS sind vorwiegend im Übertragungsnetz in Verwendung. In Zukunft könnten sie unter dem Begriff der FACDS (Flexible AC Distribution Systems) vermehrt in den Verteilnetzen zum Einsatz kommen.<sup>116</sup>

### SST (Solid State Transformator)

Bei sogenannten leistungselektronischen Transformatoren erfolgt die Energieübertragung nicht mehr in Form eines magnetischen Feldes, sondern durch leistungselektronische Bauteile. Somit ist auch die Integration in hybride AC/DC-Netzstrukturen denkbar. Diese Technologie befindet sich allerdings noch im Entwicklungsstadium.<sup>116</sup>

### Leistungselektronik

Der zunehmende Einsatz leistungselektronischer Komponenten, insbesondere durch den Einsatz als Umrichter zur Netzintegration erneuerbarer Energien, aber auch in bereits zuvor angeführten Technologien wie die SST bietet zahlreiche Möglichkeiten der Regelung.<sup>116</sup> Entsprechende Vorgaben für die Regelung leistungselektronischer Erzeugungseinheiten sind bereits in der TOR unter den Anforderungen an nicht synchrone Stromerzeugungsanlagen enthalten.<sup>117</sup> Demnach ermöglicht beispielhaft die TOR für nicht synchrone Stromerzeugungsanlagen zwischen 250 kW und 35 MW eine Blindleistungsvorgabe durch den Netzbetreiber oder bei Sonderfällen sogar eine Wirkleistungsreduktion vorschreiben.<sup>118</sup>

<sup>116</sup> Wietschel et al. (2015), S. 283-289, 333

<sup>117</sup> E-Control, Onlinequelle [30.04.2022 b]

<sup>118</sup> E-Control (2022) S. 19-20, 24, 30

### 5.3 Diagnostik und Monitoring von Betriebsmitteln

Gegenstand der Diagnostik elektrischer Betriebsmittel sind die Erfassung und Bewertung des Zustands von Betriebsmitteln. Neben der Einschätzung des Zustands ist die Beurteilung der Restnutzungsdauer und der Ausfallwahrscheinlichkeit relevant.<sup>119</sup> Bei der Diagnostik besteht also wie beim Monitoring das Ziel, unnötige Kosten durch zu frühe Ersatzinvestitionen zu verhindern. Außerdem soll das Risiko für einen Schaden und die damit verbundenen Folgeerscheinungen minimiert werden.<sup>120</sup> Denn die Folgeerscheinungen, die meist durch Ausfälle von Betriebsmitteln gekennzeichnet sind, können erheblichen Einfluss auf die Versorgungssicherheit haben.<sup>121</sup>

Die Verfahren für eine zerstörungsfreie Diagnostik sind wie folgt gegliedert:<sup>122</sup>

**Thermische Diagnostik:** Die Ermittlung der thermischen Erwärmung des Betriebsmittels (z. B. von Energiekabeln).

**Chemische Diagnostik:** Bewertung der chemischen Eigenschaften des Betriebsmittels (z. B. Isolieröle von Transformatoren).

**Mechanische Diagnostik:** Untersuchung auf Schwächung der mechanischen Festigkeit (z. B. Versprödung von Isolatoren).

**Dielektrische Diagnostik:** Bestimmung der dielektrischen Systemeigenschaften des Betriebsmittels (z. B. Verlustfaktormessung an Kabeln).

**Teilentladungsdagnostik:** Bestimmung des Auftretens von Teilentladung in einem elektrischen Betriebsmittel mithilfe elektrischer, optischer oder akustischer Verfahren (z. B. optische Erfassung von Teilentladungen an Freileitungen).

Die Diagnostik wird bei EVUs üblicherweise als sogenannte ‚Off-Line Diagnose‘ vor Ort im Zuge von Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt. Jedoch gewinnt die ‚On-Line Diagnose‘, bei der die Betriebsmittel im Betrieb gemessen werden, an Bedeutung. Zudem besteht für das sogenannte On-Line Monitoring, bei dem eine permanente Diagnostik von Betriebsmitteln durchgeführt wird, eine zunehmende Anzahl an Anwendungsgebieten. Unter anderem werden das thermische Monitoring elektrischer Betriebsmittel wie Kabel oder Transformatoren, das chemische Monitoring von Transformatorölen, das dielektrische Monitoring von Durchführungen oder das Teilentladungsmonitoring an rotierenden Maschinen als Online-Monitoring durchgeführt, wobei das Online-Monitoring vor allem bei technisch relevanten Komponenten zum Einsatz kommt.<sup>120</sup>

---

<sup>119</sup> Porzel et al. (1996), S. 4-8, 14

<sup>120</sup> Kuchler (2004), S. 307, 371, 418-419

<sup>121</sup> Deutsche Energie-Agentur GmbH (2019), S. 2

<sup>122</sup> Pirker und Schichler (2016), S. 3

## 5.4 Energiespeicher

Energiespeicher stellen eine elementare Komponente für die Funktion des elektrischen Energiesystems dar. Der Grund dafür ist, dass die Energieerzeugung und der Verbrauch nicht immer konstant sind. Energiespeicher helfen dabei, überschüssige Energie zu speichern und im Bedarfsfall die gespeicherte Energie wieder abzugeben. Besonders hinsichtlich erneuerbarer Energien haben die Speichersysteme einen hohen Stellenwert, da sie oft Strom erzeugen, obwohl er nicht benötigt wird (und umgekehrt).<sup>123</sup> Das Ziel bei der Verwendung von Energiespeichern besteht daher im Wesentlichen darin, die Differenz zwischen der erzeugten und der verbrauchten Energie auszugleichen.<sup>124</sup>

In Abbildung 17 wird ein Überblick über die technischen Möglichkeiten zur Speicherung elektrischer Energie dargestellt, wobei keine Informationen über den Stand der Technik gegeben werden. Im Wesentlichen kann zwischen mechanischen, elektrischen und chemischen Energiespeichern unterschieden werden.<sup>123</sup>

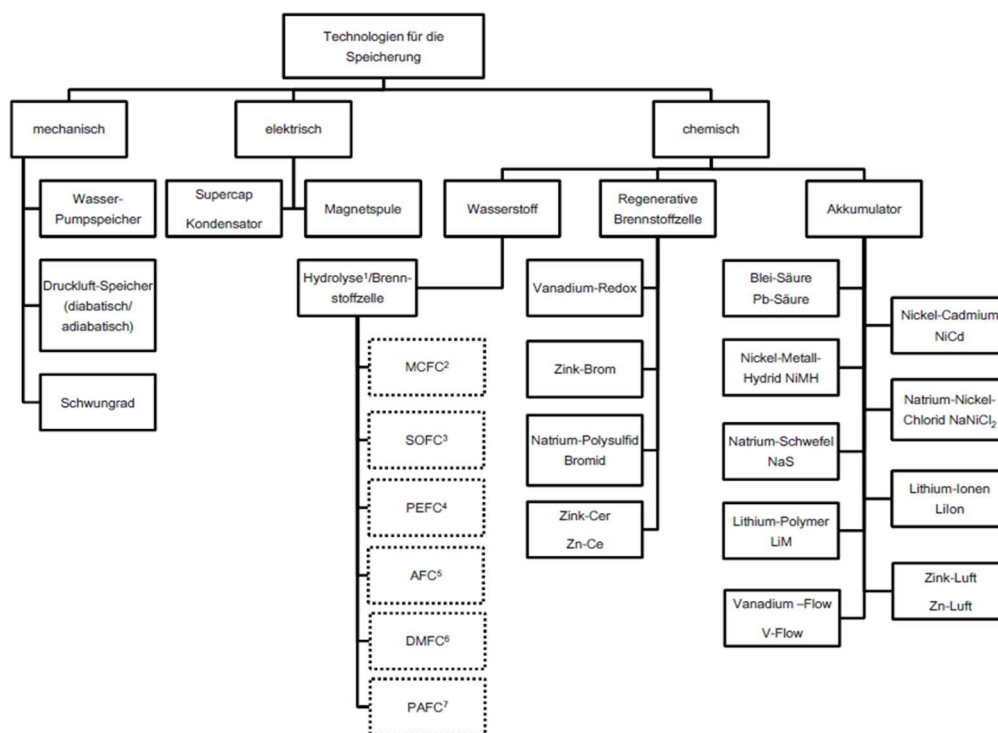


Abbildung 17: Direkte und indirekte Möglichkeiten der Energiespeicherung, Quelle: Niederhausen und Burkert (2014), S. 156

### Mechanische Energiespeicher

Die seit Jahrzehnten in Österreich vorherrschende Speichertechnologie stellen Pumpspeicherkraftwerke dar, bei denen die potenzielle Energie von Wasser in Speicherseen zur Energiespeicherung genutzt wird. Andere mechanische, aber auch elektrische und chemische Speichertechnologien konnten sich noch nicht großflächig durchsetzen.<sup>125</sup> Die darüber hinaus existierenden Druckluftspeicher, bei denen die Energie in

<sup>123</sup> Niederhausen und Burkert (2014), S. 143-156

<sup>124</sup> Heuck et al. (2013), S. 56

<sup>125</sup> Brauner (2016), S. 81-82



Form von komprimierter Luft gespeichert wird, konnten aufgrund der fehlenden Wirtschaftlichkeit noch nicht bis zur Marktreife entwickelt werden.<sup>126</sup> Schwungrad- bzw. Schwungmassespeicher eignen sich hauptsächlich zur Kurzzeitüberbrückung von Spannungsausfällen und Versorgungseinbrüchen von wenigen Sekunden,<sup>127</sup> wobei einige Firmen entsprechende Anlagen bereits bis zur Marktreife entwickelt haben.<sup>128</sup>

### **Elektrische Energiespeicher**

Bei den elektrischen Energiespeichern erfolgt die Speicherung der Energie in einem elektrischen oder magnetischen Feld. Die Speicherung in einem elektrischen Feld wird in der Praxis in Form von Superkondensatoren (Super Caps) realisiert.<sup>127</sup> Diese können hohe Energiemengen in kurzer Zeit aufnehmen und abgeben, mit den Nachteilen einer geringen Energiedichte und einer hohen Selbstentladung. Daher eignen sich Super Caps vor allem zum Abdecken kurzzeitiger Leistungsspitzen, z. B. in der E-Mobilität.<sup>129</sup> Die Speicherung von Energie mithilfe magnetischer Felder erfolgt in sogenannten Superconducting magnetic energy storage (SMES). Diese Form der Energiespeicherung kommt vorwiegend für die Einhaltung der Spannungsqualität bei Spezialanwendungen zum Einsatz.<sup>127</sup>

### **Chemische Energiespeicher**

Aktuell wird die Entwicklung elektrochemischer Speicher vorangetrieben, die vor allem für die Speicherung kleinerer Kapazitäten ausgelegt sind, etwa PV-Batteriespeichersysteme oder Batterien für Elektrofahrzeuge. Sie werden als interne Speicher bzw. Akkumulator (z. B. Lithium-Ionen, Bleisäure) ausgeführt. Darüber hinaus gibt es externe Speicher, die auch als ‚regenerative Brennstoffzellen‘ bezeichnet werden (z. B. Redox-Flow).<sup>130</sup> Externe Speicher bestehen i. d. R. aus zwei Tanks, in denen das Elektrolyt hin- und hergepumpt wird, und sind für die Speicherung größerer Energiemengen geeignet.<sup>127</sup>

Darüber hinaus gibt es noch Wasserstoffspeicher, denen ein großes Zukunftspotential vorhergesagt wird. Der Nachteil ist der schlechte Wirkungsgrad, der bei der Umwandlung von Strom zu Wasserstoff und wieder retour zu Strom bei aktuell ca. 25 % liegt. Daher ist es von Vorteil, den erzeugten Wasserstoff direkt zu nutzen, da der Wirkungsgrad bei der Umwandlung von Strom zu Wasserstoff rund 70 % beträgt.<sup>127</sup>

## **5.5 Übertragungssysteme**

Entsprechend den Elementen der Versorgungssicherheit (Abbildung 6 in Kapitel 3.4) sind die Übertragungssysteme von hoher Bedeutung für die Versorgungssicherheit. Die wesentlichen Energieübertragungssysteme in elektrischen Verteilnetzen beschränken sich auf Freileitungen oder Kabel.<sup>130</sup>

---

<sup>126</sup> Wietschel et al. (2015), S. 215-218

<sup>127</sup> Heuck et al. (2013), S. 57-60

<sup>128</sup> Piller Power Systems, Onlinequelle [24.09.2021]

<sup>129</sup> Niederhausen und Burkert (2014), S. 162

<sup>130</sup> Wietschel et al. (2015), S. 195-198, 267

## Kabel

Energiekabel werden für die Energieübertragung in elektrischen Verteilnetzen seit Jahrzehnten eingesetzt und haben sich technisch und wirtschaftlich bewährt. Kabel bestehen im Wesentlichen aus einem Leiter aus Kupfer oder Aluminium sowie einer Isolation und einem Schutzmantel aus Kunststoff. Ursprünglich wurden Kabel nur im urbanen Raum eingesetzt. Mittlerweile werden auch zunehmend ländliche Gebiete verkabelt, da für Energiekabel ein geringerer Instandhaltungsaufwand besteht und der Verkabelung ein höherer Grad an gesellschaftlicher Akzeptanz zukommt.<sup>131</sup>

Neben den klassischen Energiekabeln aus Kunststoff wird der innovative Ansatz der Verwendung der Supraleitertechnologie vorangetrieben. Bei der Supraleitertechnologie werden Materialien verwendet, bei denen bei niedrigen Temperaturen der Wirkwiderstand gegen Null geht. Diese Temperatur liegt bei den meisten Supraleitern unter  $-140\text{ °C}$ . Der wesentliche Vorteil dieser Technologie besteht darin, dass große Energiemengen nahezu ohne Verluste und mit wesentlich dünneren Kabeln transportiert werden können. Zudem kommt es zu bedeutenden Materialeinsparungen. Die Nachteile dieser Technologie bestehen im hohen Maß an benötigtem technischem Know-how, den hohen Kosten sowie der komplexen Kühlinfrastruktur. Aktuell gibt es Pilotprojekte, bei denen diese neue Technologie im Netzbetrieb für die Energieübertragung über kurze Strecken getestet wird.<sup>132</sup>

## Freileitung

Eine Freileitung besteht im Wesentlichen aus einem Mast, an dem mittels Isolatoren ein blankes Leiterseil aufgehängt wird. In Abbildung 18 ist der detaillierte Aufbau einer Freileitung skizziert. Der Mast besteht im Niederspannungs- und Mittelspannungsnetz aus Kostengründen üblicherweise aus Holz. Daneben gibt es auch Masten aus Beton oder Stahl.<sup>133</sup>

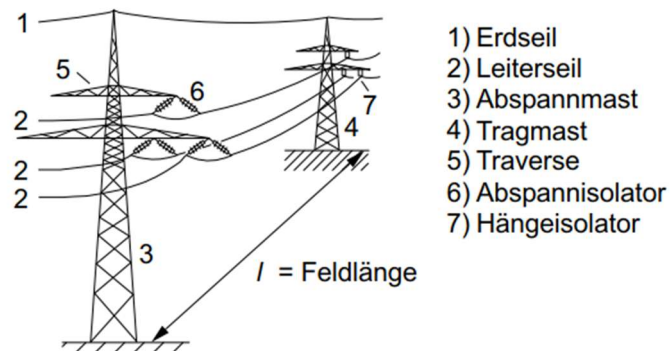


Abbildung 18: Aufbau einer Freileitung, Quelle: Heuck et al. (2013), S. 213

Der Vorteile von Freileitungen gegenüber Kabeln ist die selbstheilende Isolation. Kommt es bei einem Kabel zum Überschlag, ist die Fehlerstelle dauerhaft zerstört. Eine Freileitung kann dagegen weiterbetrieben werden. Außerdem hat die Isolierung eines Kabels ausgeprägte thermische

<sup>131</sup> Cichowski (2012), S. 19-21, 26

<sup>132</sup> Wietschel et al. (2015), S. 311-312

<sup>133</sup> Heuck et al. (2013), S. 213-214

Isolationseigenschaften und daher kann das Kabel nicht im selben Maß beansprucht werden. Außerdem sind die Kosten für die Verlegung eines Hochspannungskabels ca. zehnmal höher.<sup>134</sup>

Neben Freileitungen mit blanken Leitern werden aufgrund der Betriebs- und Personensicherheit auch Leitungen mit einer Isolation ausgeführt. Bei einem Mastbruch oder beim Fall von Bäumen auf die Leitung kommt es nicht zu einem Kurzschluss. Darüber hinaus können die Aufhängungen mit einem Ausklinkmechanismus ausgestattet werden. Fällt ein Baum auf die Leitung, wird diese ausgeklinkt und dadurch werden Folgeschäden verhindert, z. B. an den Masten.<sup>135</sup>

## HV/DC

Für die Übertragung elektrischer Energie hat sich, wie in Kapitel 2.3 beschrieben, die Wechselstromtechnik durchgesetzt. Bedingt durch den technischen Fortschritt und die zunehmende Wirtschaftlichkeit ist die Hochspannungsgleichstromtechnik für die Übertragung großer Energiemengen über lange Distanzen auf dem Vormarsch. An beiden Enden der Leitung erfolgt die Umwandlung von Wechsel auf Gleichstrom mithilfe technisch anspruchsvoller und kostenintensiver Umrichterstationen.<sup>136</sup>

Die Technik ist jedoch schon langjährig erprobt. Wegen der Zunahme von Gleichstromerzeugern und -verbrauchern sowie aufgrund der technologischen Fortschritte der Halbleiterbauelemente für die Umrichterstation kommt hybriden AC/DC-Netzstrukturen entsprechend Abbildung 19 zunehmende Bedeutung zu. Hybride Netzstrukturen befinden sich aktuell noch in der Entwicklung, ihnen wird jedoch ein hohes Zukunftspotential zugeschrieben.<sup>137</sup>

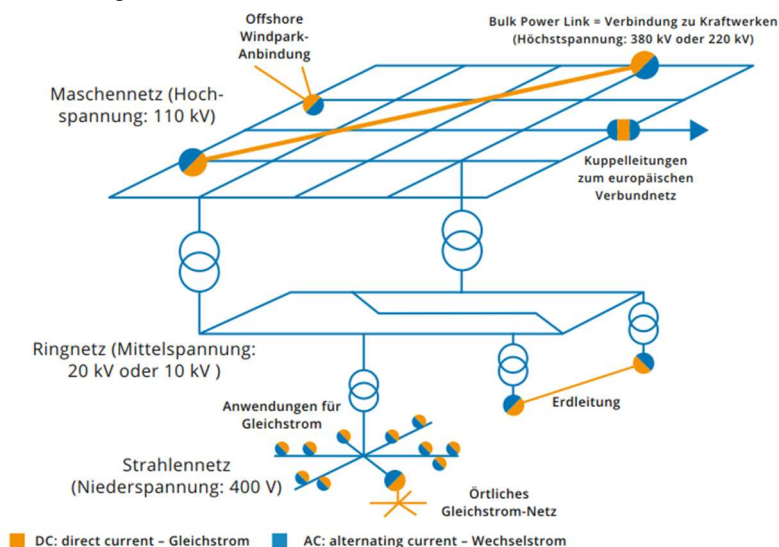


Abbildung 19: Struktur eines hybriden AC/DC-Netzes, Quelle: Wietschel et al. (2015), S. 299, nach Fraunhofer ISI Karlsruhe

Die Chancen dieser Technologie sind die höhere Übertragungsleistung und der verringerte Materialeinsatz, zudem wird keine Blindleistung benötigt. Außerdem ermöglicht diese Technologie die Bereitstellung von

<sup>134</sup> Schwab (2015), S. 459-460

<sup>135</sup> Cichowski (2012), S. 175-176

<sup>136</sup> Wietschel et al. (2015), S. 298-300

<sup>137</sup> Wietschel et al. (2010), S. 620

Systemdienstleistungen (siehe Kapitel 5.6) wie der Lastflusssteuerung. Das Risiko ist jedoch, dass kaum Betriebserfahrung vorhanden und die Technologie kostenintensiv und komplex ist.<sup>137</sup>

## 5.6 Systemdienstleistungen

Systemdienstleistungen (SDL) umfassen Leistungen, die der Netzbetreiber den Netznutzern zur Verfügung stellt.<sup>138</sup> Sie dienen der Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit und umfassen die Frequenzhaltung, die Spannungshaltung, die Betriebsführung und den Versorgungswiederaufbau, wobei die Frequenzhaltung aktuell nur Aufgabe des Übertragungsnetzbetreibers ist.<sup>139</sup> Außerdem bieten Systemdienstleistungen die Möglichkeit, Kosten zu senken, da durch sie Maßnahmen wie Netzausbauten reduziert werden.<sup>140</sup> Eine Übersicht über die Systemdienstleistungen wird in Abbildung 20 gegeben.

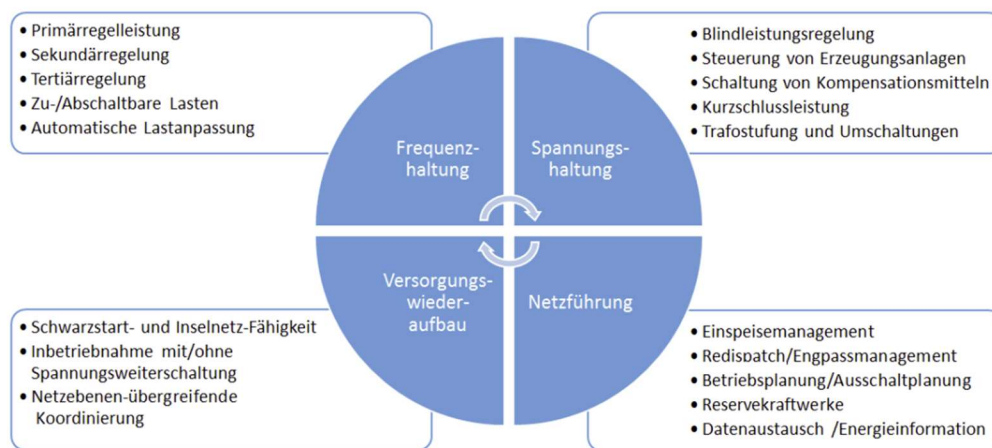


Abbildung 20: Übersicht Systemdienstleistungen, Quelle: Tauschek et al. (2018), S. 8

Die rasante Entwicklung der Kommunikationstechnologien und neuer Technologien auf der Netzkundenseite, z. B. Elektromobilität, Wärmepumpen oder Photovoltaikanlagen, bietet das Potential, neue Systemdienstleistungen zu integrieren. Diese umfassen die Steuerung von Verbraucher- und Erzeugungsanlagen. So können bei zu hoher Last Elektrofahrzeuge vom Netz genommen werden oder sie können den in ihrer Batterie gespeicherten Strom ins Netz einspeisen. Die Umrichter von PV-Anlagen können dazu genutzt werden, Blindleistung zu erzeugen oder zu verbrauchen, oder sie können bei zu hoher lokaler Energieeinspeisung vom Netz genommen werden.<sup>140</sup> Dabei kann zwischen dem statischen und dynamischen Einspeisemanagement unterschieden werden. Im statischen Fall wird die maximale Spitzenleistung einer Kundenanlage begrenzt. Im dynamischen Fall kann per Fernzugriff die Erzeugungsleistung reduziert werden.<sup>141</sup> Die Systemdienstleistungen, die von Netzkunden zu erbringen sind, sind in der TOR geregelt. Daneben kann der Netzbetreiber Systemdienstleistungen vertraglich mit

<sup>138</sup> Schwab (2015), S. 942

<sup>139</sup> Tauschek et al. (2018), S. 8-9

<sup>140</sup> Wietschel et al. (2015), S. 325-326, 417

<sup>141</sup> Zdrallek (2016), S. 55-56

dem Netzkunden vereinbaren.<sup>142</sup> Diese Systemdienstleistungen umfassen z. B. das sogenannte Demand-Side-Management oder das Demand-Response-Management, bei dem die Lasten von Kunden lang- oder kurzfristig reduziert werden, um so z. B. Spitzenlasten zu reduzieren.<sup>143</sup> Eine Übersicht über mögliche neue Systemdienstleistungen und eine Roadmap der Forschung sind in Abbildung 21 dargestellt. Entsprechend dieser Illustration kommt Systemdienstleistungen noch erhebliches Entwicklungspotential zu.<sup>144</sup>

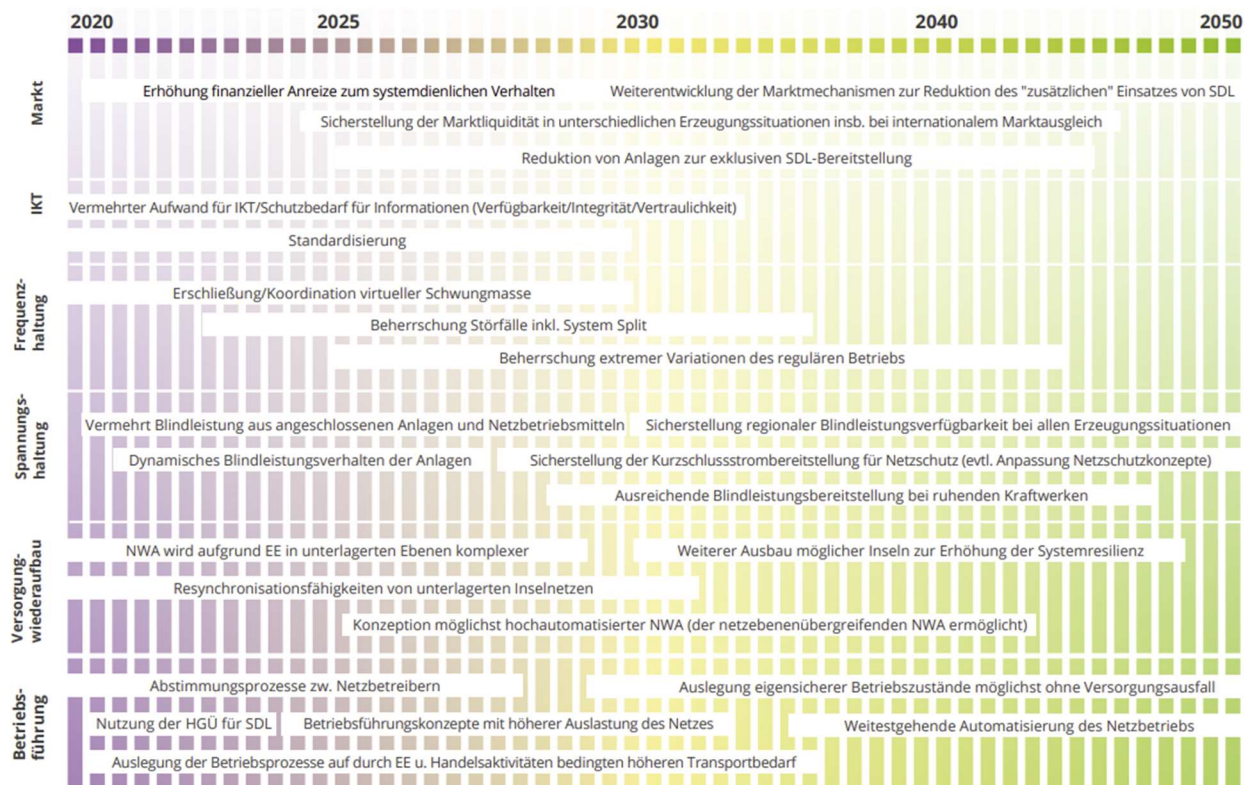


Abbildung 21: Mögliche zukünftige Systemdienstleistungen, deren Herausforderungen und die zeitliche Einordnung der Relevanz für die Forschung, Quelle: Dreher et al. (2020), S. 9

## 5.7 Schutztechnik

Die Schutztechnik ist fundamental für die Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit. Die wesentliche Aufgabe der Schutztechnik ist die frühzeitige Erkennung von Fehlern, z. B. Über- und Unterspannungen, Überlastströme sowie Kurz- und Erdschlüsse. Durch den Einsatz schutztechnischer Komponenten in Kombination mit durchdachten Schutzkonzepten können Schäden auf die Fehlerstelle begrenzt werden. Außerdem können Fehler auf einzelne Netzabschnitte reduziert werden, um so großflächige Störungen zu verhindern. Dafür bedarf es jedoch der entsprechenden Schaltgeräte, die in der Lage sind, die Fehlerstelle freizuschalten.<sup>145</sup>

<sup>142</sup> E-Control (2022), S. 16

<sup>143</sup> Wietschel et al. (2015), S. 325-326, 417

<sup>144</sup> Dreher et al. (2020), S. 8-10

<sup>145</sup> Schwab (2015), S. 656-657

Die wesentliche Funktionsweise der Schutzeinrichtung besteht in der Erfassung physikalischer Größen wie Strom und Spannung sowie teilweise auch Temperatur oder Impedanz. Der Schutzeinrichtung wird ein entsprechendes Schutzkriterium vorgegeben. Wird dieses über- oder unterschritten, kommt es zur Schutzanregung, und der fehlerbehaftete Teil wird nach entsprechender Zeit automatisch und selektiv vom Netz getrennt.<sup>146</sup> Die folgenden wesentlichen Schutzeinrichtungen kommen im elektrischen Verteilnetz zur Anwendung:

**Überspannungsschutz:** Kommt es zu Überspannungen, schaltet das Schutzgerät den entsprechenden Abschnitt frei. Zusätzlich können Überspannungsableiter eingesetzt werden, die Überspannungen im Vorhinein verhindern sollen.<sup>147</sup>

**Überlastschutz:** Kommt es bei einem Betriebsmittel zu einer Überlastung aufgrund einer zu hohen Last, muss dieses nach einer entsprechenden Beanspruchungsdauer und anregen des Schutzorgans freigeschaltet werden. Als Auslöser können Schalter mit entsprechenden Schutzeinrichtungen oder Sicherungen verwendet werden.<sup>146</sup>

**Kurzschlusschutz:** Kommt es zu einem Isolationsversagen zwischen zwei Leitungen, fließen hohe Ströme, die schnell abgeschaltet werden müssen. Hierfür können wiederum Sicherungen oder Schaltgeräte eingesetzt werden, die mit der entsprechenden Sekundärtechnik ausgestattet sind.<sup>146</sup>

**Erdschlusschutz:** Kommt es zu einem Schluss zwischen einem aktiven Leiter gegen Erde, kommt es je nach Netzform zu mehr oder weniger hohen Erdschlussströmen. Die Schutzeinrichtung muss diese Fehler erfassen und wenn nötig (abhängig von der Netzform) abschalten.<sup>146</sup>

**Distanzschutz:** Kommt es zu einem Überstrom durch einen Kurzschluss oder eine Überlastung, fehlt meist die Kenntnis über den Ort der Fehlerstelle. Durch den Distanzschutz wird hier Abhilfe geschaffen, indem dieser durch Messung der Leitungsimpedanz die Fehlerstelle erfassen und im Idealfall unverzüglich abschalten kann. Zudem kann im Nachgang die Fehlerstelle einfacher gefunden und damit rascher behoben werden.<sup>147</sup>

**Differenzialschutz:** Ein Differenzialschutz arbeitet nach dem Prinzip des Messgrößenvergleichs. Es wird der Strom am Ein- und am Ausgang eines Betriebsmittels wie einem Transformator oder einer Leitung gemessen. Kommt es hierbei zu einer Abweichung, muss beim betrachteten Betriebsmittel ein Fehler vorliegen. Nach dem gleichen Prinzip arbeitet auch ein FI-Schutzschalter.<sup>146</sup>

**AWE:** Eine besondere Form des Schutzes ist die sogenannte automatische Wiedereinschaltung (AWE). Kommt es auf einer Freileitung zu einem Fehler, z. B. durch Blitzeinschlag oder Bewuchs, wird die fehlerhafte Leitung ab- und innerhalb von Hundertstelsekunden wieder zugeschaltet. Im Idealfall ist die Fehlerstelle nicht mehr vorhanden und die Versorgung kann nahezu ohne Unterbrechungen weitergeführt werden.<sup>146</sup>

---

<sup>146</sup> Schwab (2015), S. 660-661, 672, 678-679, 708

<sup>147</sup> Heuck et al. (2013), S. 308, 337-339

## 6 STRATEGISCHE VORSCHAU

In diesem Abschnitt werden wesentliche Begriffe der Trend- und Zukunftsforschung behandelt, die die Basis für die strategische Vorschau darstellen. Zudem wird im weiteren Verlauf dieses Kapitels näher auf die strategische Vorschau eingegangen und bewährte Methoden werden erläutert.

### 6.1 Trendforschung

#### 6.1.1 Definition der Trendforschung

In der Literatur sind unterschiedliche Definitionen des Wortes ‚Trend‘ zu finden. Im Gabler Wirtschaftslexikon versteht man unter einem Trend die „Komponente einer Zeitreihe, von der angenommen wird, dass sie längerfristig und nachhaltig wirkt. Der Trend ist eine – häufig als linear unterstellte – Funktion der Zeit, die die Grundrichtung des Verlaufes einer Zeitreihe ausdrückt und meist auch als deterministischer Trend bezeichnet wird.“<sup>148</sup> Im Vergleich mit dieser mathematischen Definition liegt der Fokus des sozialwissenschaftlichen Trendbegriffs auf der Veränderung des Werte- und Verhaltensgefüges der Gesellschaft.<sup>149</sup>

Nach Horx (2015) wird die Trendforschung als „Wissenschaft der Wandlungssysteme definiert“. Dabei können diese Wandlungssysteme „kurz- oder langfristig sein, sich in Teilsysteme verorten (Börse, Konsum, Marketing) oder in großen komplexen Veränderungswellen ausdrücken (Kondratieffs, Epochen- und Zivilisationsmodelle). Wichtig ist, dass der Fokus der Analyse immer in der Gegenwart liegt“.<sup>150</sup>

In Abbildung 12 wird eine Beschreibung des Trendbegriffs gezeigt. Demgemäß ist ein Trend eine Zeitfunktion. Anhand von Daten, Fakten und dokumentierbaren Informationen aus der Vergangenheit können Hypothesen für die Zukunft generiert werden. Diese Hypothesen beruhen nicht nur auf rein objektiven Quellen, sondern bestehen zum Teil auch aus Visionen, persönlichen Einschätzungen und Spekulationen.<sup>149</sup>

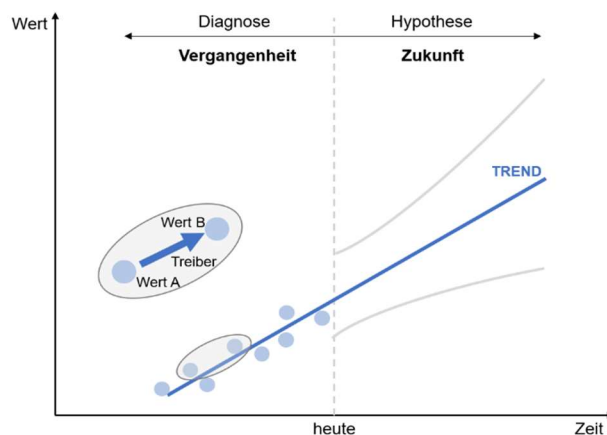


Abbildung 22: Die Anatomie von Trends, Quelle: In Anlehnung an Pillkahn (2007), S. 126

<sup>148</sup> Springer Gabler, Onlinequelle [11.09.2021]

<sup>149</sup> Pillkahn (2007), S. 125-131

<sup>150</sup> Horx (2015), S. 91

Daher sind die Hypothesen durch einen bestimmten Grad an Unsicherheit gekennzeichnet und es ergibt sich eine gewisse Bandbreite an Entwicklungsmöglichkeiten. Weiters ist in dieser Darstellung auch die formale Struktur von Trends ersichtlich. Denn hinter jedem Trend stehen Treiber, die der Antrieb für die Veränderung sind.

An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass es nicht nur Treiber für einen Trend gibt, sondern auch bremsende Kräfte. Ein Trend steht daher immer im Kräftefeld von treibenden und blockierenden Kräften. Durch gezielte Beeinflussung dieser Kräfte können Entwicklungen maßgeblich beeinflusst werden. Meist löst ein Trend als Reaktion sogar einen Gegentrend aus.<sup>151</sup>

### 6.1.2 Arten von Trends

Um einen sinnvollen Umgang mit Trends zu gewährleisten, müssen die verschiedenen Arten von Trends entsprechend ihren Eigenschaften kategorisiert werden. Diese Eigenschaften können die Stärke des Trends sein, das Mikro- und Makroumfeld des Trends beschreiben oder auch zeitlicher Natur sein.<sup>151</sup> In Abbildung 23 ist eine Kategorisierung der Trends entsprechend ihrer zeitlichen Ausprägung nach dem sogenannten Wellenmodell dargestellt.

**Mikrotrends:** Diese Trends sind im Bereich des Designs angesiedelt und durch ihre Kurzfristigkeit und scharfe Umgrenzung charakterisiert.<sup>152</sup>

**Zeitgeisttrends:** Damit sind meist saisonale Trends gemeint, die flüchtig, oberflächlich und marketinggesteuert sind.<sup>152</sup>

**Konsumtrends:** Dies ist eine verbraucher- und marktbezogene Form von Trends, die eine Dauer von ca. fünf Jahren aufweist. Die Treiber dieser Trends sind meist Medien, aber auch Megatrends.<sup>152</sup>

**Technologietrends:** Die Grundlage für technologische Trends sind Basistechnologien sowie mittelfristige Veränderungen in der betrachteten Branche.<sup>152</sup>

**Soziokulturelle Trends:** Getrieben von sozialen Prozessen und Organisationsformen, hat dieser Veränderungsprozess eine Dauer zwischen zehn und 15 Jahren. Die relevanten Treiber sind vor allem der Lebensstil und die Wertorientierung der Menschen.<sup>153</sup>

**Megatrends:** Langfristige Entwicklungen von mehreren Jahrzehnten, die sämtliche Bereiche der Gesellschaft und Wirtschaft prägen, werden als ‚Megatrends‘ bezeichnet. Megatrends werden von einer Vielzahl technologischer, sozialer und wirtschaftlicher Trends und Treiber gefördert. Da Megatrends branchenübergreifend wirken, können sie als ‚Lawinen‘ mit erheblich verlangsamter Wirkung betrachtet werden. Demzufolge beeinflussen Megatrends auch die Elektrizitätswirtschaft.<sup>153, 154</sup>

---

<sup>151</sup> Pillkahn (2007), S. 127-132

<sup>152</sup> Zukunftsinstitut, Onlinequelle [17.09.2021 a]

<sup>153</sup> Zukunftsinstitut, Onlinequelle [17.09.2021 b]

<sup>154</sup> Horx (2015), S. 97-97



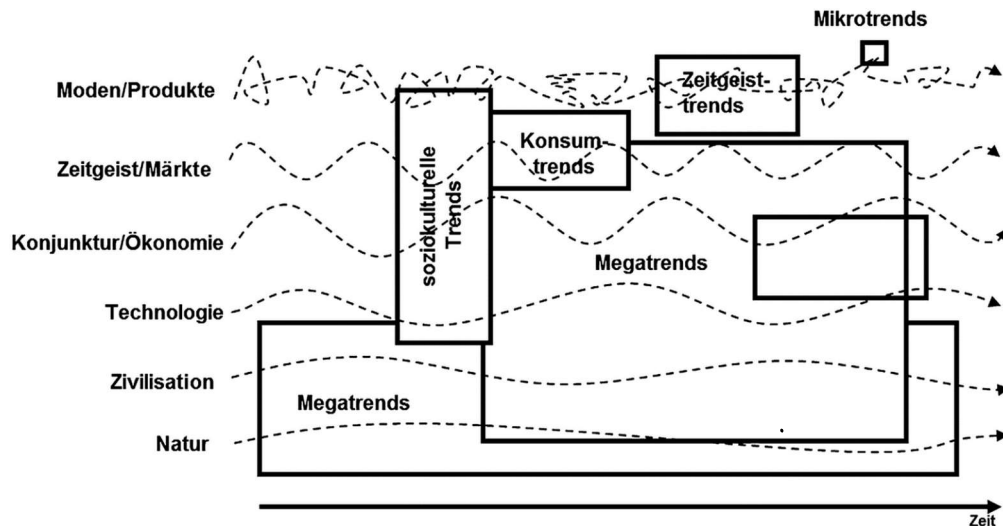


Abbildung 23: Trendkategorien im Wellenmodell Quelle: Unkrig (2020) S. 14, nach Zukunftsinstitut (2015)

Eine Klassifizierung von Trends kann auch entsprechend ihrem inhaltlichen Umfeld erfolgen. Ein Modell hierfür ist die sogenannte STEEP-Segmentierung, anhand derer Trends in folgende Makroumfelder eingeteilt werden:<sup>155</sup>

<b>S</b>	<b>Society</b>	Gesellschaftstrends Bsp.: alternde Gesellschaft, Familiensinn versus Singleinteressen
<b>T</b>	<b>Technology</b>	Technologietrends Bsp.: LED als neue Lichttechnologie, Polymerelektronik als günstige Alternative zu Silizium
<b>E</b>	<b>Economy</b>	Wirtschaftstrends Bsp.: Outsourcing, Shareholder-Value-Orientierung
<b>E</b>	<b>Ecology</b>	Umwelttrends Bsp.: Erderwärmung und Klimawandel
<b>P</b>	<b>Political</b>	Politiktrends Bsp.: verschärfte Sicherheitspolitik, Rechtsruck

In der Literatur sind noch weitere Einteilungen von Trends zu finden, z. B. nach dem Mikroumfeld oder nach der Stärke des Trends.<sup>155</sup> Aufgrund der fehlenden Relevanz für die vorliegende Arbeit werden diese Systematisierungen nicht näher erläutert.

## 6.2 Zukunftsforschung

### 6.2.1 Definition der Zukunftsforschung

Die Disziplin der Zukunftsforschung hat die Skizzierung und Exploration möglicher Zukunftsbilder zum Gegenstand. Die „Darstellung und Entwicklung möglicher Zukunftsvorstellungen“ stellt daher ihre Hauptaufgabe dar.<sup>156</sup>

<sup>155</sup> Pillkahn (2007), S. 128-130

<sup>156</sup> Müller (2010), S. 243

Zwischen den Begrifflichkeiten der prognostischen Wissenschaften, nämlich der oben definierten Trendforschung und der Zukunftsforschung, gibt es eine klare Abgrenzung.<sup>150</sup> In der Trendforschung geht es um die Feststellung, Deutung und Bewertung von Trends mit dem Ziel, Potentiale und Handlungsoptionen zu erkennen.<sup>157</sup> Die Zukunftsforschung ist dagegen weitaus spekulativer. Sie wird nach Horx definiert „als die Wissenschaft der Auswirkungen von Wandlungsprozessen im Zeitverlauf. Das heißt: Hier werden mögliche Implikationen der Trends auf Zukunfts-Zustände untersucht. Was-wäre-wenn dieser Trend sich fortsetzt/abbricht/sich variiert?“<sup>157</sup> Themen der Zukunftsforschung sind daher die Antizipation und Entwicklung möglicher Zukunftsszenarien, und nicht die Erkennung und Deutung von Entwicklungen.<sup>158</sup>

## 6.2.2 Möglichkeiten und Grenzen der Zukunftsforschung

Die Zukunftsbilder, die in der Disziplin der Zukunftsforschung entworfen werden, basieren i. d. R. auf wissenschaftlichen Grundlagen und Methoden. Dennoch sind diese Zukunftsbilder von Unsicherheiten geprägt, da sie nur schwer überprüfbar sind und die Zukunft von Ungewissheiten geprägt ist. Das ist auch der Hauptkritikpunkt an der behaupteten Wissenschaftlichkeit der Zukunftsforschung. Die Zukunftsforschung ist jedoch neben der Methodik auf folgende Punkte gestützt:<sup>156</sup>

**Zukunft ist multipel:** Die Zukunft existiert aus heutiger Sicht nur in der Mehrzahl, in alternativen ‚Zukünften‘. Dadurch dürfen verschiedene mögliche, wahrscheinliche oder wünschenswerte Zukunftsbilder erforscht werden.<sup>156</sup>

**Zukunft ist erforschbar:** Durch geeignete Methoden und Modelle kann die Zukunft erforscht und planbarer gemacht werden. Es geht nicht darum, „Prognosen zu erstellen, sondern vielmehr in Szenarien, Kontingenzen, alternativen Zukunftsbildern und -projektionen zu denken. Dabei sollen bewusst auch Trendbrüche, Diskontinuitäten, strukturelle Veränderungen und externe Störereignisse“ in die Zukunftsbilder einfließen.<sup>156</sup>

**Zukunft ist gestaltbar:** Die Zukunft hängt von Entscheidungen ab, die in Vergangenheit und Gegenwart getroffen wurden bzw. werden. Durch das rechtzeitige Erkennen des Notwendigen, Möglichen oder Gewollten kann die Zukunft innerhalb gewisser Grenzen beeinflusst werden. Daher kann Zukunftsforschung auch als Zukunftsgestaltung verstanden werden.<sup>156</sup>

Es zeigt sich, dass die Zukunftsforschung keine Garantie auf Richtigkeit erhebt. Die Zukunft ist immer von Unsicherheiten geprägt. In Tabelle 7 sind die bedeutendsten Erwartungen an Zukunftsbilder dem möglichen Output gegenübergestellt. Trotz der Unsicherheiten können durch die Zukunftsforschung wesentliche Erkenntnisse über die Zukunft gewonnen werden.<sup>159</sup>

---

<sup>157</sup> Duncker und Schütte (2017), S. 5

<sup>158</sup> Peter Granig et al. (2016), S. 161

<sup>159</sup> Pillkahn (2007), S. 163-164

Erwartungen an Zukunftsbilder	Wirklichkeit und Möglichkeit von Zukunftsbilder
Garantierter Erfolg in der Zukunft	Unterstützung, keine Garantie
Planbarkeit und Sicherheit	Auswertung und Umsetzung der Ergebnisse schafft den eigentlichen Nutzen
Geringes Risiko bei strategischen Entscheidungen und Investitionen	Ein empfundenes Risiko lässt sich nicht gänzlich beseitigen. Die Sicherheit bei Entscheidungen resultiert aus dem erarbeiteten Wissen.
Höhere Wettbewerbsfähigkeit	Die Wettbewerbsfähigkeit kann durch abgeleitete, strategische Maßnahmen erhöht werden.
Effiziente Organisation	Umorganisation ist Teil der Strategieumsetzung.
Stabiles Umfeld und neue Märkte	Stabile Unternehmensfelder sind Vergangenheit. Adaption ist nur durch kontinuierliche und systematische Vorausschau möglich.

Tabelle 7: Erwartungen an Zukunftsbilder, Quelle: In Anlehnung an Pillkahn (2007), S. 165

### 6.3 Strategische Vorschau

#### 6.3.1 Definition der strategischen Vorschau

Die strategische Vorschau, im Englischen ‚strategic Foresight‘, kann im Wesentlichen als ‚Strategische Trend- und Zukunftsforschung in Unternehmen‘ verstanden werden. Dabei werden die Methoden und Denkweisen aus der Trend- und der Zukunftsforschung in Kombination in einem Unternehmen angewendet. Unter Berücksichtigung alternativer Zukunftsbilder werden strategische Entscheidungen im Unternehmen unterstützt. Die Szenarien werden anhand einer „ganzheitlichen Antizipation, Analyse und Interpretation langfristiger gesellschaftlicher, ökonomischer und technologischer Umfeldentwicklungen“ entwickelt.<sup>160</sup> Dieser ganzheitliche Ansatz ist auch in Abbildung 24 dargestellt. Daneben können in der strategischen Vorschau weitere Perspektiven wie Technologien, Wettbewerb und neue Märkte/Geschäftsfelder berücksichtigt werden.<sup>161</sup> Es zeigt sich dabei, dass die strategische Vorschau nicht nur eine reine Methodenanwendung ist, sondern auch Analyseaktivitäten beinhaltet.<sup>160</sup>



Abbildung 24: Aufbau der Zukunftsforschung und der strategischen Vorschau, Quelle: In Anlehnung an Mietzner (2009), S. 62

<sup>160</sup> Müller Adrian (2010), S. 244

<sup>161</sup> Mietzner (2009), S. 34

### 6.3.2 Ziele der strategischen Vorschau

Das Ziel der strategischen Vorschau besteht darin, „Unsicherheiten im Hinblick auf zukünftige Entwicklungen des Unternehmens und des Unternehmensumfeldes zu reduzieren sowie Risiken und Chancen, die aus strategischen Entscheidungen resultieren (z. B. Investitionen, Entwicklung neuer Geschäftsfelder), besser einschätzen zu können“. Dies geschieht anhand der „systematischen Früherkennung neuer Technologien, neuer Märkte, aufstrebender Wettbewerber und sich verändernder gesellschaftlicher Phänomene“.<sup>162</sup> Es können dabei folgende drei Kernziele der strategischen Vorschau festgestellt werden:<sup>163</sup>

- Vorbereitung strategischer Entscheidungen,
- langfristige Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen und
- Lern- und Innovationsfähigkeit des Unternehmens dauerhaft stärken.

Im Rahmen der strategischen Vorschau als Vorbereitung für die weiterführende Strategieentwicklung kann ein Mehrwert für das Unternehmen generiert werden. Dieser Mehrwert kann in folgenden Punkten zusammengefasst werden:<sup>164,165</sup>

- Flexibilität und Reaktionsfähigkeit im Unternehmen werden erhöht,
- durch das Erkennen von Gefahren wird aus Unsicherheit ein kalkulierbares Risiko,
- alternative Entwicklungsmöglichkeiten analysieren und Handlungsoptionen reflektieren,
- starre Denkmuster werden aufgebrochen und hinterfragt,
- reflektiert mit Unsicherheiten und Komplexität umgehen,
- Interessen, Ziele, Wünsche und Prioritäten sichtbar machen und formulieren,
- Entscheidungsfindung unterstützen,
- die Arbeit an Zukunftsprojekten und die Kommunikation der Ergebnisse im Unternehmen ermöglichen ein gemeinsames Verständnis über die Zukunft und den Weg,
- durch Zukunftsbilder und das Generieren von Wissen auf Vorrat werden Überraschungen gedanklich bereits vorweggenommen und
- unbekannte oder wenig beachtete Themen auf die Agenda setzen.

### 6.4 Methoden der strategischen Vorschau

Im folgenden Kapitel werden Methoden aus der Disziplin der strategischen Vorschau vorgestellt. Eine Übersicht über die Methoden, die im Rahmen der Zukunftsforschung verwendet werden, ist Tabelle 8 zu entnehmen. Aufgrund der hohen Anzahl an Methoden werden im folgenden Kapitel nur die für die vorliegende Arbeit relevanten Methoden beschrieben. An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass sich einige der Methoden mit jenen aus Kapitel 4 (‘Methoden der Technologiefrüherkennung und -bewertung‘)

---

<sup>162</sup> Mietzner (2009), S. 38-39

<sup>163</sup> Klaus et al. (2002), S. 12

<sup>164</sup> Pillkahn (2007), S. 165-166

<sup>165</sup> Brockmann et al. (2013), S. 2

überschneiden. Das gilt u. a. für Expertenbefragungen oder das Brainstorming, die in diesem Kapitel nicht näher beschrieben werden.

### Methodenübersicht

Patenthäufigkeit	Delphi-Studie	Szenariotechnik
Patentvernetzung	Erfahrungskurven	Benchmarking
Literaturhäufigkeit	Portfolios	Lead-User
Publikationsvernetzung	Roadmaps	Expertenbefragungen
Option-Pricing	QFD	Flexible Expertenbefragung
S-Kurvenanalyse	Roadmaps	Cross-Impact
Roadmapping	Stakeholderanalyse	Morphologische Analyse
Literaturrecherche	Brainstorming	SWOT
Wildcards	Szenarioworkshop	Literaturreview
Prognose	Weak-Signal-Analyse	Wiederholungsmuster
Berechnungen	Historische Analogien	Theorien u. Gesetze

Tabelle 8: Foresight-Methoden, Quellen: Möhrle (2007), S. 73, Pillkahn (2007), S. 198, Popper (2008), S. 66, Mietzner (2009), S. 333-344

Die oben aufgezählten Methoden beruhen jeweils auf einem von fünf Prinzipien, nämlich den Prinzipien der kausalen Logik, der Zeitreihe, der Gesetze und Theorien, der Fantasie und Kreativität oder der proaktiven Gestaltung. Durch die Kombination von Methoden, die auf unterschiedlichen Grundprinzipien beruhen, kann ein höher Grad an Zukunftsinformation generiert werden.<sup>166</sup>

#### 6.4.1 Trendanalyse

Die Trendanalyse ist eine Methode, durch die Trends (siehe Kapitel 6.1) identifiziert und beschrieben werden. Sie basiert auf der Annahme, dass „erkennbare Veränderungen der Vergangenheit nach einem bestimmten Muster Einfluss auf die Zukunft nehmen“.<sup>166</sup> Ein mögliches Vorgehensmodell besteht in der Trend-Impact-Analyse, die entwickelt wurde, um aussagekräftige Trendanalysen durchzuführen. Die Trend-Impact-Analyse ist in die folgenden vier Schritte gegliedert:<sup>167</sup>

1. Sammlung themenspezifischer Vergangenheitsdaten,
2. Extrapolation der Vergangenheitsdaten unter Nutzung von Algorithmen,
3. Zusammenstellung einer Liste noch nie aufgetretener Ereignisse, die den angenommenen Kurvenverlauf stören würden und
4. Expertenbewertung im Hinblick auf die Wahrscheinlichkeit des Eintretens der Ereignisse im Zeitverlauf sowie eine Einschätzung des Einflusses der Ereignisse auf den Untersuchungsgegenstand.

<sup>166</sup> Pillkahn (2007), S. 191, 428

<sup>167</sup> Mietzner (2009), S. 139

## 6.4.2 Szenariotechnik

Ziel der Verwendung der Szenariotechnik ist es, ein Szenario oder mehrere Szenarien zu entwickeln. Der Begriff ‚Szenario‘ ist nicht eindeutig definiert. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um ein komplexes Zukunftsbild, das auf „Faktoren, Trends und Projektionen beruht“. <sup>168</sup> Das Szenario soll begründbar und plausibel sein und sich aus der Gegenwart ableiten lassen, wobei Geschka empfiehlt, dass Experten den fachlichen Input zu den Szenarien beisteuern sollen, indem sie die Gegenwart beschreiben und Zukunftsprojektionen erläutern. <sup>169</sup> Jedoch hat die Szenariotechnik nicht das Ziel, die Zukunft exakt vorherzusagen, vielmehr sollen unter Berücksichtigung diverser Faktoren und Rahmenbedingungen mehrere unterschiedliche Entwicklungen aufgezeigt werden. <sup>170</sup>

Eines der geläufigsten Modelle ist der Szenario-Trichter, bei dem die drei möglichen Grundtypen eines Szenarios beschrieben werden, wie dies in Abbildung 25 dargestellt ist. Dabei stellt das positive Extremszenario den wünschenswertesten und das negative Extremszenario den schlimmsten Fall dar. Die Extremszenarien dürfen unwahrscheinlich, aber nicht unmöglich sein. Das Trendszenario beschreibt den Fall, bei dem sich die Gegenwart wie bisher weiterentwickelt. Dabei müssen die Szenarien nach Reibnitz folgende Eigenschaften aufweisen: <sup>168,171</sup>

- größtmögliche Stimmigkeit, Konsistenz und Widerspruchsfreiheit,
- größtmögliche Stabilität des Szenarios und
- größtmögliche Unterschiedlichkeit der Grundtypen.

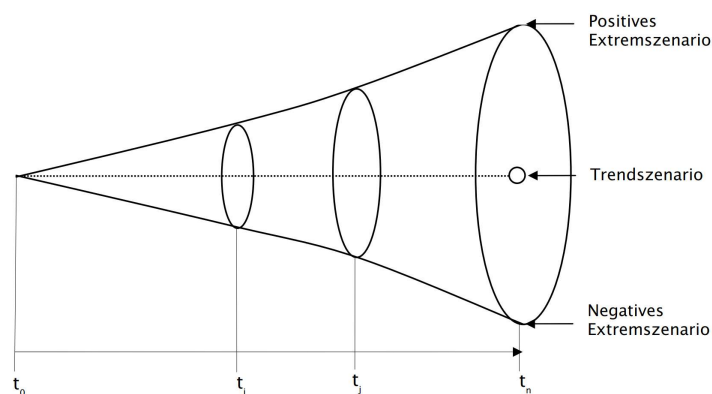


Abbildung 25: Szenario-Trichter; Quelle: Mietzner (2009), S. 119, in Anlehnung an Reibnitz (1988), S. 30

Um Zukunftsszenarien zu entwickeln, bedarf es einer methodengestützten Vorgehensweise, ohne die die oben angeführten Eigenschaften sowie die Wissenschaftlichkeit der Szenarien nicht garantiert sind. <sup>171</sup> Es gibt keine einheitliche Vorgehensweise und die Szenarien können sowohl mittels mathematischer Algorithmen als auch durch intuitive Bewertung von Experten erstellt werden. Dabei wird zwischen methodischen und intuitiven Szenarien unterschieden. Die Szenarien können mittels Trends bzw. Faktoren

<sup>168</sup> Mietzner (2009), S. 95-98, 118-119

<sup>169</sup> Geschka und Schwarz-Geschka (2012), S. 3-4

<sup>170</sup> Kerth und Asum (2015), S. 224

<sup>171</sup> Reibnitz (1992), S. 27-30

entwickelt werden. Daneben besteht die Möglichkeit, einen Framework für das Szenario vorzugeben, oder ein bestehendes Zukunftsbild weiterzuentwickeln. Darüber hinaus muss differenziert werden, ob das Szenario aus der Gegenwart heraus (exploratives Szenario) oder von der Zukunft in die Gegenwart (antizipatives Szenario) entwickelt wird. Des Weiteren ist ein Szenario durch seine Zielgerichtetheit charakterisiert. Dabei ist zu unterscheiden, ob die Ziele des Anwenders in das Szenario miteinfließen (präskriptives Szenario), oder ob die Ziele eine untergeordnete Rolle spielen (deskriptives Szenario). Eine Übersicht über die Charakteristika von Szenarien ist Tabelle 9 zu entnehmen.<sup>172</sup>

<b>Komplexität der Szenarioentwicklung</b>	<b>Methodengestützte Szenarioentwicklung</b> Verwendung math. Algorithmen		<b>Intuitive Szenarioentwicklung</b> Keine Nutzung von Algorithmen
<b>Richtung der Szenarioentwicklung</b>	<b>Induktiv</b> Verknüpfung von Faktoren/Trends	<b>Deduktiv</b> Vorgabe eines Frameworks	<b>Inkremental</b> Weiterentwicklung eines Zukunftsbilds
<b>Ausgangspunkt der Szenarioentwicklung</b>	<b>Explorative Szenarien</b> Entwicklung aus der Gegenwart		<b>Antizipative Szenarien</b> Entwicklung aus der Zukunft
<b>Zielgerichtetheit der Szenarioentwicklung</b>	<b>Deskriptive Szenarien</b> Ursache-Wirkungs-Beziehungen		<b>Präskriptive Szenarien</b> Ziel-Mittel-Beziehungen

Tabelle 9: Unterscheidungsformen der Szenariotechnik; Quelle: In Anlehnung an Fink et al. (2002), S. 63

In unterschiedlichen Literaturquellen wird der Gestehungsprozess von Szenarien nach Reipnitz sowie Geschka in acht ähnlichen Phasen beschrieben, die im Wesentlichen wie folgt lauten:<sup>173, 174, 175</sup>

- 1. Aufgabenanalyse:** Im ersten Schritt soll die aktuelle Situation eines Unternehmens bzw. der Geschäftseinheit untersucht werden. So können Probleme identifiziert und das Untersuchungsfeld, der Untersuchungsrahmen und der Zeithorizont festgelegt werden.
- 2. Einflussanalyse:** Die für den Untersuchungsgegenstand relevanten Einflussfelder sollen analysiert werden. Beim Untersuchungsgegenstand kann es sich z. B. um ein Produkt oder ein Geschäftsfeld handeln, das durch den Markt, Technologien oder politische Rahmenbedingungen beherrscht wird.
- 3. Trendprojektion:** In diesem Schritt sollen Kenngrößen oder Deskriptoren erörtert werden, die Teilaspekte des ermittelten Umfelds beschreiben. Deskriptoren sind „Ereignisse, Trends oder andere Faktoren“, durch die der Untersuchungsgegenstand charakterisiert wird.
- 4. Alternativenbündelung:** Deskriptoren werden auf Verträglichkeit und Logik überprüft und können so zu Annahmenbündeln zusammengefasst werden. Dies geschieht mit einer sogenannten Konsistenzbewertung, bei der bewertet wird, in welchem Maß die einzelnen Deskriptoren zusammenpassen.

<sup>172</sup> Fink et al. (2002), 61-63

<sup>173</sup> Geschka und Hammer (1990), S. 319

<sup>174</sup> Reipnitz (1992), S. 30

<sup>175</sup> Mietzner (2009), S. 121-132

**5. Szenariointerpretation:** Die bewerteten Bündel aus Schritt 4 sollen interpretiert und zu Szenarien geformt werden, die stimmig und in sich logisch sind. Die einzelnen Szenarien sind schriftlich zu Geschichten zu formulieren.

**6. Störereignisanalyse:** Mögliche spontan auftretende Störereignisse können sich erheblich auf das Unternehmen auswirken. In diesem Schritt sollen diese Ereignisse erfasst und präventive Maßnahmen entwickelt werden.

**7. Konsequenzenanalyse:** Dabei soll der Einfluss der Szenarien auf die einzelnen Parameter wie die Geschäftsstrategie untersucht werden. Damit unterstützen die Szenarien bei der Strategieentwicklung.

**8. Szenariotransfer:** Im letzten Schritt finden die Szenarien in der strategischen Planung Anwendung, indem eine konkrete Leitstrategie formuliert wird.

Anhand der zuvor beschriebenen Schritte soll aufgezeigt werden, dass die Erstellung von Szenarien aufwändig ist. Ohne Zuhilfenahme zusätzlicher Methoden ist die Szenariotechnik nicht durchführbar. Einige dieser Methoden werden im Folgenden beschrieben.

#### **6.4.2.1 SWOT-Analyse**

Im ersten Schritt der Szenariotechnik soll die aktuelle Situation des Unternehmens, insbesondere die Corporate-Identity, die Ziele und die Strategie, aber auch die Stärken und Schwächen analysiert werden.<sup>179</sup> Besonders für Letztere eignet sich die SWOT-Analyse, um anhand der Analyse der Stärken und Schwächen einen Gesamtüberblick über das Unternehmen zu erhalten. Durch die Untersuchung von Chancen und Risiken kann zudem das Potential im Unternehmen abgeschätzt werden.<sup>176, 177</sup>

#### **6.4.2.2 Konsistenzanalyse**

Damit möglichst schlüssige Zukunftsszenarien entwickelt werden, müssen die Kombinationen an Deskriptoren jeweils stimmig sein. Dafür kann im vierten Schritt der Szenariotechnik die sogenannte Konsistenzanalyse durchgeführt werden.<sup>179</sup> Hierbei werden die einzelnen Deskriptoren bzw. deren Ausprägungen einander gegenübergestellt und es wird bewertet, ob die Deskriptoren voneinander abhängig sind, sich gegenseitig begünstigen, neutral zu einander stehen oder partiell oder vollständig inkonsistent sind.<sup>180</sup>

#### **6.4.2.3 Wechselwirkungsanalyse**

Um die Beziehungen und Einflüsse zwischen den unterschiedlichen Elementen zu ermitteln, kann die Wechselwirkungsanalyse durchgeführt werden.<sup>180</sup> Dabei wird im ersten Schritt eine Vernetzungsmatrix erstellt, bei der die einzelnen Elemente bzw. Deskriptoren nach ihrer gegenseitigen Abhängigkeit bewertet werden. Daraus ergeben sich für jedes Element eine Aktiv- und eine Passivsumme. Diese Methodik kann in Schritt 2 Anwendung finden.<sup>178</sup> Anschließend können die Elemente entsprechend ihren Aktiv- und

---

<sup>176</sup> Granig et al. (2016), S. 163, 201

<sup>177</sup> Pillkahn (2007), S. 441-442

<sup>178</sup> Reibnitz (1992), S. 32-35



Passivsummen im Koordinatensystem aufgetragen werden. Daraus ergeben sich vier Quadranten, wie in Abbildung 26 dargestellt ist.

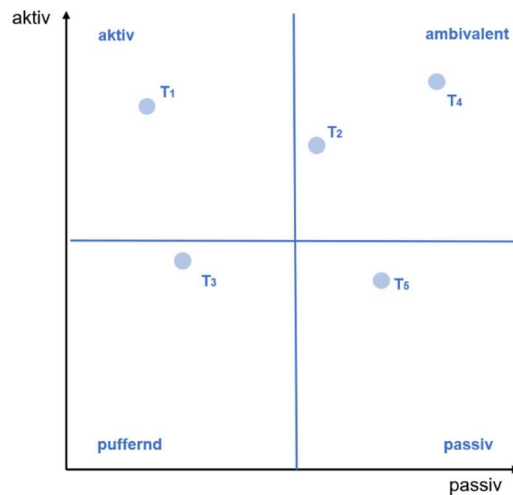


Abbildung 26: Wechselwirkungsanalyse, Quelle: In Anlehnung an Pillkahn (2007), S. 209

#### 6.4.2.4 Wilson-Matrix

Im dritten Schritt der Trendprojektion werden die Deskriptoren ermittelt. Für die weitere Entwicklung ist von Relevanz, wie kritisch, also wie unsicher, deren Eintritt bzw. Ausprägung ist. Den kritischen Deskriptoren muss besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden, und zu diesem Zweck müssen sie identifiziert werden.<sup>179</sup> Dazu eignet sich die Wilson-Matrix, bei der ‚Einfluss‘ in Abhängigkeit zu ‚unsicher‘ gegenübergestellt wird. So können gemäß Abbildung 27 die kritischen Deskriptoren (Elemente) bestimmt werden.<sup>180</sup>

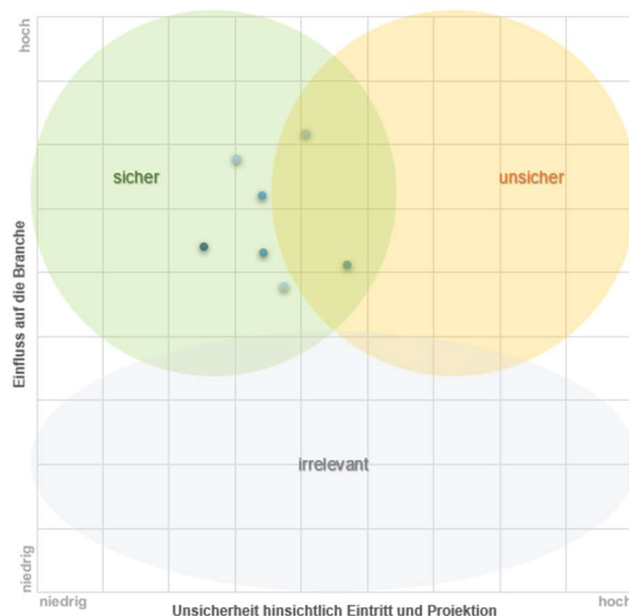


Abbildung 27: Wilson-Matrix zur Bewertung von Zukunftselementen, Quelle: In Anlehnung an Pillkahn (2007), S. 207

<sup>179</sup> Mietzner (2009), S. 121-124, 131

<sup>180</sup> Pillkahn (2007), S. 207-211

### 6.4.2.5 Morphologischer Kasten

Der Morphologische Kasten beruht auf der von Zwicky in den 1940er Jahren entwickelten Allgemeinen Morphologischen Analyse (GMA). Dies ist eine Methode zur „Modellierung komplexer sozialer und organisatorischer Planungsprobleme, die nicht quantifizierbar sind. Sie untersucht alle möglichen Beziehungen zwischen den verschiedenen sozialen, politischen und organisatorischen Dimensionen eines komplexen Problems, und ermöglicht es, alle möglichen Ergebnisse zu betrachten.“ Die Modelle, die durch die Allgemeine Morphologische Analyse generiert werden, sind „nicht-quantifizierte, multidimensionale Inferenz-Modelle, im Unterschied zu anderen mathematischen und wissenschaftlichen Modellen.“<sup>181</sup>

Der Morphologische Kasten basiert auf dem grundsätzlichen Ansatz, dass mehrdimensionale Problemkomplexe mit der GMA strukturiert und analysiert werden können. Durch die geeignete Methodik können mit der GMA in einem Problemkomplex Beziehungen identifiziert und untersucht werden.<sup>182</sup> Diese Methodik spiegelt sich auch im Morphologischen Kasten wider, der beispielhaft in Abbildung 28 dargestellt ist. Dabei werden die zu untersuchenden Elemente in der Kopfzeile eingetragen. Die Elemente entsprechen annähernd den Deskriptoren aus dem dritten Schritt der Szenariotechnik und können Trends, Unsicherheiten, Widersprüche, Paradigmen oder andere Faktoren sein. Den jeweiligen Elementen sollen mögliche Ausprägungen zugeordnet werden. Die einzelnen Ausprägungen sollen sodann zu plausiblen Szenarien kombiniert werden, was dem vierten Schritt aus der Szenariotechnik entspricht.<sup>183</sup>

	Element 1	Element 2	Element 3	Element 4	
Ausprägung A	1A	2A	3A	4A	Szenario 1
Ausprägung B	1B	2B	3B	4B	Szenario 2
Ausprägung C	1C	2C	3C	4C	
Ausprägung D	1D	2D	3D	4D	Szenario 3

Abbildung 28: Morphologischer Kasten; Quelle: In Anlehnung an Pillkahn (2007), S. 208

### 6.4.3 Zukunftsbilder

In den Kapiteln 6.4.1 und 6.4.2.1 wurden Methoden zur Entwicklung von Zukunftsszenarien vorgestellt. Ausgehend davon können diese Szenarien mit der Methodik zur Gestaltung von Zukunftsbildern visualisiert und dadurch besser kommuniziert werden. Dabei gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, um Zukunftsbilder zu gestalten, z. B. in Form einer Geschichte, durch grafische Aufbereitung oder als Film. Im Folgenden sollen zwei Methoden zur Erstellung von Zukunftsbildern erörtert werden, wobei bei der Exploration der Zukunft die folgenden Grundsätze berücksichtigt werden sollen:<sup>184</sup>

<sup>181</sup> Ritchey, Onlinequelle [27.12.2021]

<sup>182</sup> Álvarez und Ritchey (2015), S. 29

<sup>183</sup> Pillkahn (2007), S. 205-208

<sup>184</sup> Pillkahn (2007), S. 180, 211, 214-216

- die Neutralität so lange wie möglich bewahren,
- Transparenz und Nachvollziehbarkeit im Vorgehen garantieren,
- Akzeptanz unbewusster Unwissenheit (im Gegensatz zur Lüge) und
- strikte Trennung von Tatsachen, Glauben und Meinungen (Zukunftselemente).

#### 6.4.4 Picture-of-the-Future by Siemens

Als eines der führenden Unternehmen bei der Entwicklung von Zukunftsbildern hat sich das Unternehmen Siemens etabliert. Siemens entwickelt unter dem Namen Pictures-of-the-Future systematisch Zukunftsbilder im Rahmen seines Innovationsmanagements. Durch die „konstruktive und gestaltende“ Auseinandersetzung mit der Zukunft kann sich das Unternehmen erfolgreich am Markt behaupten. Bei der Methodik selbst wird auf die Kombination aus Extrapolation und Retropolation gesetzt.<sup>185</sup> Das Siemensmodell soll an dieser Stelle die Relevanz von Zukunftsbildern im unternehmerischen Kontext verdeutlichen. In der weiterführenden Literatur von Stuckenschneider<sup>185</sup>, aber auch von Pillkahn<sup>184</sup> kann die detaillierte Vorgehensweise bei der Siemensmethodik nachgeschlagen werden.

#### 6.4.5 Zukunftsbilder nach Pillkahn

Ein konkretes Vorgehensmodell zur Generierung von Zukunftsbildern ist das Modell von Pillkahn. Dieses ist in fünf Schritte gegliedert, die Abbildung 29 zu entnehmen sind und im Folgenden näher erläutert werden.

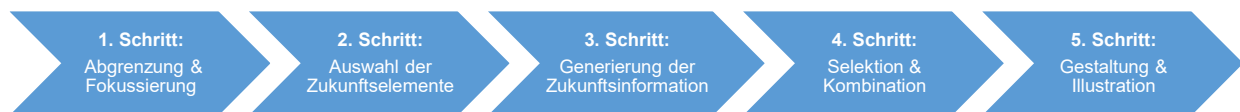


Abbildung 29: Entwicklung von Zukunftsbildern nach Pillkahn, Quelle: In Anlehnung an Pillkahn (2007), S. 181

**1. Abgrenzung und Fokussierung:** Zu Beginn der Untersuchung muss die Zielsetzung definiert werden. Dadurch soll es zu einem Abgleich zwischen den Erwartungen und den möglichen Ergebnissen der Zukunftsbetrachtung kommen. So kann Enttäuschung durch überhöhte Erwartungshaltung verhindert werden. Zudem muss bei allen Beteiligten Klarheit geschaffen werden, was durch eine konkrete Definierung und Abgrenzung über folgende drei Dimensionen erreicht werden kann:<sup>186</sup>

- Fokus (z. B. Branche, Unternehmen oder Produkt),
- Zeitrahmen der Untersuchung und
- betrachtete Region

**2. Auswahl der Zukunftselemente:** Die wesentliche Fragestellung in diesem Prozessschritt lautet: „mit welchen Zukunftselementen lässt sich die Wirklichkeit ausreichend beschreiben und abbilden?“<sup>186</sup>. Die Zukunftselemente können z. B. Trends sein, die sich durch Interviews oder Kreativitätsmethoden

---

<sup>185</sup> Stuckenschneider (2007), S. 235-236, 243

<sup>186</sup> Pillkahn (2007), S. 182-183

bestimmen lassen. Die einzelnen Elemente sollten einander möglichst nicht überlappen, aber die Thematik ausreichend erfassen.<sup>187</sup>

**3. Generierung der Zukunftsinformation:** In diesem Schritt erfolgt der eigentliche Foresight, der auch das Schlüsselement der Zukunftsbetrachtung ist. Um eine möglichst große Menge an Information anhand der Zukunft zu erhalten, können unterschiedliche Methoden verwendet werden, die in Tabelle 8 aufgezählt sind. Darunter fallen u. a. das Brainstorming, die Trendextrapolation oder Expertenbefragungen.<sup>187</sup>

**4. Selektion und Kombination:** Zur Generierung plausibler Zukunftsbilder müssen die einzelnen Zukunftselemente richtig kombiniert werden. Dies kann mithilfe der Wilson-Matrix (Kapitel 6.4.2.4) und der Morphologischen Analyse (Kapitel 6.4.2.5) erfolgen. Die Kombination der beiden Methode eignet sich für ca. drei bis acht kritische Zukunftselemente (Unsicherheiten) und wird als ‚Standardansatz‘ bezeichnet. Werden mehr als acht kritische Zukunftselemente identifiziert, sollen im vierten Schritt auch noch die Konsistenz- (Kapitel 6.4.2.2) und die Wechselwirkungsanalyse (Kapitel 6.4.2.3) angewendet werden. Dieser Ansatz wird als Maximalansatz bezeichnet und eignet sich insbesondere für komplexe Themen mit einem hohen Freiheitsgrad und einer Vielzahl an Unbekannten, ist in der Umsetzung jedoch besonders aufwändig.<sup>187</sup>

### **5. Gestaltung und Illustration**

Als letzten Schritt müssen aus der Kombination von Zukunftselementen und deren Ausprägungen (Szenarien) Zukunftsbilder textlich beschrieben und unter Zuhilfenahme geeigneter Mittel wie Bildern oder Videos kommuniziert werden.<sup>187</sup>

---

<sup>187</sup> Pillkahn (2007), S. 184-185, 205-211, 211-214

## 7 TRENDS IN DER ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFT

Im folgenden Kapitel werden die vorherrschenden Trends der Elektrizitätswirtschaft auf Basis einer umfangreichen Literaturrecherche dargelegt. Dabei wurden verschiedene Publikationen zum Thema zukünftiger Entwicklungen und Szenarien in der Elektrizitätsbranche nach Trends durchsucht. Die Suche erfolgte über die Internetportale Google Scholar und IEEE. Sie beschränkte sich vorwiegend auf Literatur aus dem europäischen Raum im Zeitraum zwischen 2014 und 2022.

Der Einfluss auf die zukünftige Entwicklung in der Elektrizitätsbranche ist nicht nur rein technischer Natur. Erheblichen Einfluss haben auch die Gesetzgebung und die Bevölkerung, aber auch wirtschaftliche Entwicklungen. Bereits in der Working-Paper-Serie „Megatrends in der Energiewirtschaft“ der Universität St. Gallen wurden die Trends in Technologie-, Gesellschafts- und Politiktrends unterteilt.<sup>188</sup>

An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass die Trendforschung kritisch betrachtet wird.<sup>189</sup> Einer der Hauptkritikpunkte ist die mangelnde Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse aus der Trendforschung.<sup>190</sup> Daher wird diesem Kritikpunkt im Rahmen dieser Arbeit Rechnung getragen und die beschriebenen Trends werden anhand von Daten, Fakten und Quellen belegt. Diese Daten und Fakten werden entsprechend der formalen Struktur von Trends den Treibern zugeordnet.<sup>191</sup>

### 7.1.1 Gesellschaftstrends

#### Weltweit steigender Primärenergiebedarf

Der Bedarf an Primärenergie, insbesondere solche aus fossilen Energieträgern wie Öl, Kohle und Gas, steigt weltweit. Dies wird in Abbildung 30 dargestellt.<sup>192</sup>

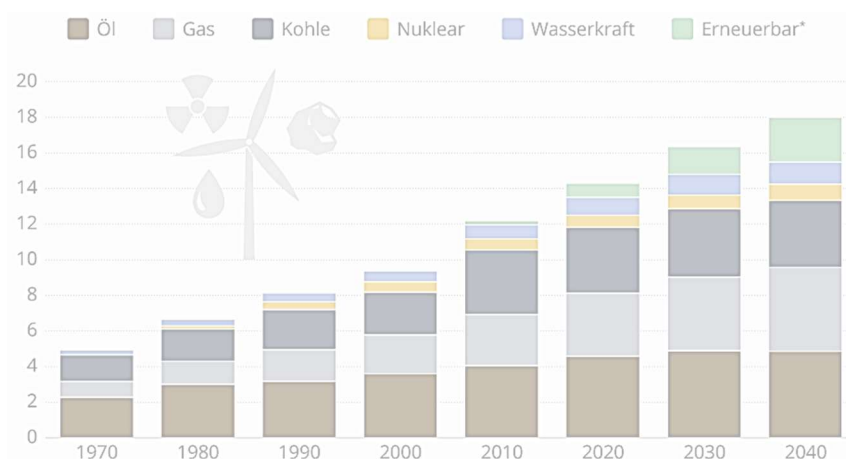


Abbildung 30: Weltweiter Primärenergiebedarf nach Energieträger (in Mrd. Tonnen Öläquivalent), Quelle: Bp energy economics (2018), S. 68, modifiziert durch Statista

<sup>188</sup> Opitz und Germann (2019), S. 5-6

<sup>189</sup> Pfadenhauer (2004), S. 12

<sup>190</sup> Rust (2009), S. 166- 169

<sup>191</sup> Pillkahn (2007), S. 130-131

<sup>192</sup> Bp energy economics (2018), S. 68

Die Ursachen für den steigenden Primärenergiebedarf sind vor allem die Zunahme der Weltbevölkerung und das globale Wirtschaftswachstum. Trotz des Versuchs zahlreicher Industrieländer, ihre Abhängigkeit von fossilen Energieträgern zu reduzieren, wird der Bedarf in den Entwicklungsländern steigen.<sup>193</sup>

### **Steigerung des Strombedarfs**

Obwohl der Energieverbrauch historisch in vielen Industrieländern mit dem Bruttoinlandsprodukt (BIP) und dem Bevölkerungswachstum gekoppelt ist, kommt es in vielen OECD-Ländern seit Jahren zu einer Entkoppelung.<sup>194</sup> Auch in Österreich erfolgte insbesondere mithilfe von Energieeffizienzmaßnahmen eine Entkoppelung des Energieverbrauchs vom Wirtschaftswachstum (siehe Abbildung 50 im Anhang 1).<sup>195</sup> Diese Entkoppelung kann innerhalb der EU zu einer Reduktion des Primärenergieverbrauchs bis zum Jahr 2050 führen.<sup>194</sup> In der 2016 durchgeführten Studie der Austria-Energy-Agency wird zumindest bis zum Jahr 2030 eine Zunahme des Energieverbrauchs in Österreich erwartet.<sup>196</sup> Zu erwarten ist in den meisten Szenarien eine Zunahme des Strombedarfs.<sup>193, 194, 196</sup> Dies ist vor allem durch eine Substitution anderer Energieträger für den Wärme- und Transportsektor bedingt, z. B. Öl.

### **Nutzung regenerativer Energien**

Mit dem Megatrend der Neo-Ökologie rückt auch ‚saubere‘ und nachhaltige Energieversorgung ins Bewusstsein der Gesellschaft.<sup>197</sup> Historische Daten über die weltweite Entwicklung erneuerbarer Energien<sup>198</sup> sowie nationale Aufzeichnungen<sup>195</sup> deuten auf einen Trend zur Zunahme regenerativer Energiequellen hin. So verzeichnete die Windenergie in den Jahren 2005 und 2017 eine Zunahme von 414 % und die Solarenergie einen Anstieg von 8086 % an der jährlich erzeugten Strommenge in Europa (siehe Abbildung 51 im Anhang 1).<sup>199</sup> Im gleichen Zeitraum ist die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien von 15 % auf ca. 30 % gestiegen (siehe Abbildung 52 im Anhang).

In Österreich ist die Wasserkraft aus historischen Gründen die größte regenerative Energiequelle. Wobei die Bedeutung von Windkraft, gefolgt von Photovoltaik und festen biogenen Energien, zunimmt.<sup>195</sup>

### **Protestkultur**

Die Ablehnung gegenüber Infrastrukturgroßprojekten hat in Österreich eine lange Historie. Insbesondere im Rahmen energietechnischer Projekte gibt es Fallbeispiele wie das Kraftwerk Zwentendorf, das Donaukraftwerk Hainburg, der Bau der 380-kV-Steiermark- oder die Salzburgleitung.<sup>200</sup> Aber auch

---

<sup>193</sup> Brauner (2016), S. 4-8

<sup>194</sup> Komarnicki et al. (2021), S. 9-11, 31-33

<sup>195</sup> Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2020), S. 18, 26

<sup>196</sup> Baumann et al. (2016), S. 18

<sup>197</sup> Zukunftsinstitut, Onlinequelle [29.09.2021 c]

<sup>198</sup> Bp energy economics (2018), S. 68

<sup>199</sup> Europäischer Rechnungshof (2019), S. 10-11

<sup>200</sup> Gutschik et al. (2006), S. 9-14

aktuellere Projekte wie das Murkraftwerk in Graz<sup>201</sup> oder die 380-kV-Weinviertelleitung<sup>202</sup> stoßen trotz der erforderlichen Genehmigungen auf teils erheblichen und ausgeprägten Widerstand in der Bevölkerung. Die Treiber sind oft Umwelt- und Klimaschutzgedanken sowie der Landschaftsschutz.<sup>203</sup> Ein wesentlicher Grund für den Widerstand ist jedoch auch die fehlende Einbindung von Projektgegnern, die sich dadurch oft übergangen und machtlos fühlen.<sup>204</sup> Unter dem Begriff ‚Friday for Future‘ hat sich eine, wenn nicht die größte, Jugendbewegung jemals entwickelt, die vorwiegend über soziale Netzwerke entstanden ist. Diese Entwicklung steht zugleich stellvertretend für eine neue Ära der Protestkultur in Europa.<sup>205</sup>

### 7.1.2 Technologietrends

**Dezentralisierung:** Der Trend der Dezentralisierung ist gekennzeichnet durch die Zunahme kleiner dezentraler Anlagen, wie in Abbildung 31 dargestellt wird. Diese Entwicklung wird vor allem durch die Verbesserung der Anlagentechnik für erneuerbare Energien sowie die sinkenden Investitionskosten beschleunigt.<sup>206</sup>

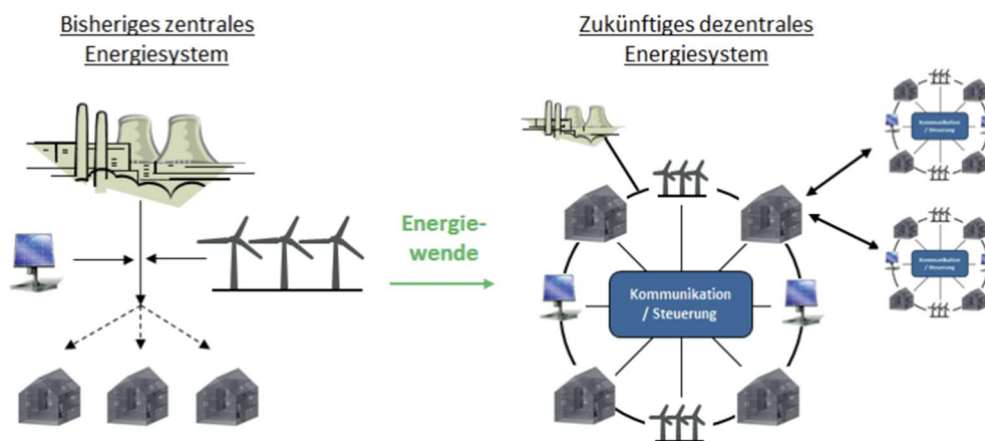


Abbildung 31: Transformation des Energiesystems (zentral – dezentral), Quelle: Seidel et al. (2018), S. 2

Die Zunahme an dezentralen und volatilen Stromerzeugern ist einer der wesentlichen Treiber dieses Trends.<sup>207</sup> Die Integration dieser Erzeuger findet vor allem auf den Netzebenen 5 bis 7 statt (siehe Abbildung 53 im Anhang).<sup>207</sup> Diese dezentralen und stochastischen Einspeisestrukturen werden in Zukunft zu einem zunehmend komplexen Flexibilitätsmanagement in Verbindung mit einem intelligenteren Stromnetz (dem sogenannten Smart Grid) führen.<sup>208</sup> Zusätzlich werden dezentrale

<sup>201</sup> Kornberger (2017), Onlinequelle [06.05.2022]

<sup>202</sup> Nagl (2020), Onlinequelle [06.05.2022]

<sup>203</sup> Gutschik et al. (2006), S. 65, 69, 181

<sup>204</sup> Gutschik et al. (2007), S. 241

<sup>205</sup> Zukunftsinstitut (2022), Onlinequelle [06.05.2022 d]

<sup>206</sup> Seidel et al. (2018), S. 2

<sup>207</sup> Wietschel et al. (2015), S. 324

<sup>208</sup> Zimmermann und Wolf (2016), S. 5

Energiespeichertechnologien einen wesentlichen Beitrag zum Ausgleich von Angebot und Nachfrage leisten. Maßgeblich werden diese Entwicklungen in der Speichertechnologie durch die Politik getrieben, insbesondere auf EU-Ebene.<sup>209</sup>

**Digitalisierung:** Die aktuellen Entwicklungen zeigen, dass der Digitalisierung, die die Gesellschaft bereits durchdrungen hat, in den kommenden Jahren ein noch höheres Maß an Einfluss auf die Energieversorgung zukommen wird als dies aktuell der Fall ist. So wird es zu einer Digitalisierung der gesamten Wertschöpfungskette kommen, beispielhaft in Abbildung 32 dargestellt.<sup>210</sup> Die Digitalisierung wird von Seiten der Politik als Schlüsseltechnologie für die Dekarbonisierung gesehen<sup>211</sup> und in der Branche selbst wurde die Bedeutung der Digitalisierung längst erkannt.<sup>212</sup> So empfinden Österreichs Energieversorger die Digitalisierung als zweitgrößte Herausforderung für die Energiebranche.<sup>213</sup>

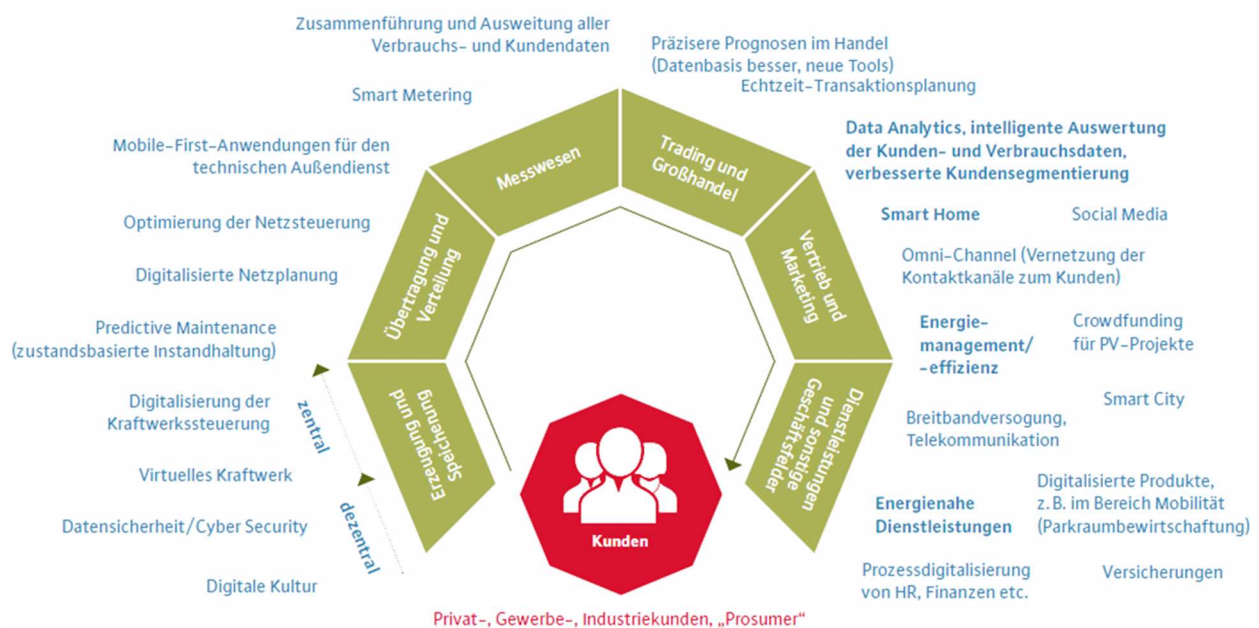


Abbildung 32: Digitalisierung der gesamten Wertschöpfungskette in der Energieversorgung; Quelle: BDWE Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2016), S. 18 in Anlehnung an Pricewaterhouse Coopers (PwC)

Dieser Trend wird durch das Aufkommen neuer Schlüsseltechnologien wie Smart Meter (intelligenter Stromzähler)<sup>214</sup>, Big Data oder die Blockchain-Technologie getrieben.<sup>215</sup> Daneben können weitere Treiber aus der Energiewirtschaft identifiziert werden. Diese sind der steigende Kostendruck sowie neue Geschäftsprozesse. Außerdem kommt regulatorischen Vorgaben wie IT-Sicherheitsgesetzen oder

<sup>209</sup> Europäischer Rechnungshof (2019), S. 40

<sup>210</sup> BDWE Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2016), S. 8-12

<sup>211</sup> Bundesministerium - Nachhaltigkeit und Tourismus, Bundesministerium - Verkehr, Innovation und Technologie (2018), S. 48-49

<sup>212</sup> Pricewaterhouse Coopers (PwC), S. 14-15

<sup>213</sup> Ernst & Young GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (2021), S. 39

<sup>214</sup> Hecker et al. (2015), S. 54-55

<sup>215</sup> Pricewaterhouse Coopers (PwC) (2016c), Onlinequelle [21.09.2021]



Gesetzen zur Digitalisierung hohe Bedeutung zu. Darüber hinaus ändern sich die Bedürfnisse der digitalen Kunden, was wiederum EVUs zum Handeln zwingt.<sup>210</sup>

Die Digitalisierung bringt vielfältige Chancen für die Elektrizitätswirtschaft und Energieversorgung mit sich. Sie kann zu einer effizienteren Nutzung der bestehenden Infrastruktur führen und helfen, regenerative Energien in das Elektroenergiesystem zu integrieren. Zudem kann die Digitalisierungstechnik die Versorgungssicherheit erhöhen. Als Herausforderung ist vor allem der Sicherheitsaspekt zu nennen, insbesondere in Hinblick auf Cybersecurity.<sup>216</sup>

**Flexibilisierung:** Mit der Zunahme volatiler erneuerbarer Energien, die vorwiegend auf der Verteilnetzebene einspeisen, steigen auch die Phasen von Stromüber- und Unterschüssen. Insbesondere bei Stromüberschüssen fehlt es einerseits an Leitungskapazitäten, um die Energie weiträumig zu transportieren und zu verteilen. Andererseits ist eine zu geringe Anzahl an Energiespeichern im europäischen Netz installiert. Im Fall von Stromunterschüssen müssen konventionelle Kraftwerke die benötigte Regenergie bereitstellen,<sup>217</sup> obwohl die konventionellen Kraftwerke aufgrund der Strompreisbildung und der fehlenden Vergütung von Reservekapazitäten vermehrt vom Netz genommen werden.<sup>218</sup>

Die Entwicklung hin zu einem dargebotsabhängigen Energiesystem kann nicht ohne die Schaffung von Flexibilitätsoptionen erfolgen. Diese Optionen sind u. a. Speicher, das Demand-Side-Management, die Sektorkopplung, aber auch Flexibilität durch intelligentes Netzmanagement. Sie können dazu genutzt werden, die Erzeugungs- und Lastschwankungen auszugleichen.<sup>219</sup> Mit dem zunehmenden Bedarf an Flexibilität werden in Zukunft neue Technologien und neue Märkte geschaffen. Der Trend führt jedoch auch zu einem Bedarf an neuen regulativen Vorgaben und Anreizen<sup>220</sup> und Treibt zudem die Digitalisierung voran.<sup>221</sup> Zudem bedarf es eines Systems zum koordinierten Einsatz der Flexibilität bzw. der Berücksichtigung der lokalen Netzstruktur, um Überlastungen zu verhindern.<sup>217</sup>

**Sektorkopplung:** Die Zunahme an erneuerbaren Energieträgern im Strommix führt zu essenziellen Veränderungen in der „systemischen Betrachtung“ und „ganzheitlichen Optimierung“ des Energiesystems. Daraus resultiert der Bedarf der Koppelung der Sektoren Strom, Wärme und Verkehr.<sup>221</sup> In Abbildung 33 wird das Konzept der Sektorkopplung dargestellt. Durch die Verbindung der Sektoren können Stromüberschüsse aus regenerativen Energiequellen in den Sektoren Wärme, Verkehr sowie Industrie

---

<sup>216</sup> Hans-Martin (2018), Onlinequelle [21.09.2021]

<sup>217</sup> E-Bridge (2017), S. 1-8

<sup>218</sup> Hütter (2014), S. 5-6, 96-97

<sup>219</sup> Bundesministerium - Nachhaltigkeit und Tourismus, Bundesministerium - Verkehr, Innovation und Technologie (2018), S. 27

<sup>220</sup> BDWE Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2017), S. 8-9

<sup>221</sup> Ausfelder et al. (Hrsg.) (2017), S. 145

(Power-to-Gas) eingesetzt werden.<sup>222</sup> Die Sektorkopplung soll nicht nur helfen, die einzelnen Sektoren zu verbinden, sondern soll langfristig die Teilsysteme zu einer geschlossenen Einheit verschmelzen.<sup>223</sup>

Die Sektorkopplung wird von der Politik<sup>224</sup> vorangetrieben, aber auch von der Branche selbst.<sup>225</sup> Weitere Treiber für diesen Trend sind wirtschaftlicher Natur. Durch die Zunahme der Anzahl regenerativer Energieerzeuger steigt auch der Überschussstrom. Aufgrund fehlender Übertragungskapazitäten und/oder Speichermöglichkeiten hat dieser Überschussstrom keinen Nutzen, da er nicht verbraucht oder gespeichert werden kann. Der Überschussstrom kann im Verkehrssektor, auf dem Wärmemarkt oder in der Industrie verwertet werden.<sup>226</sup>

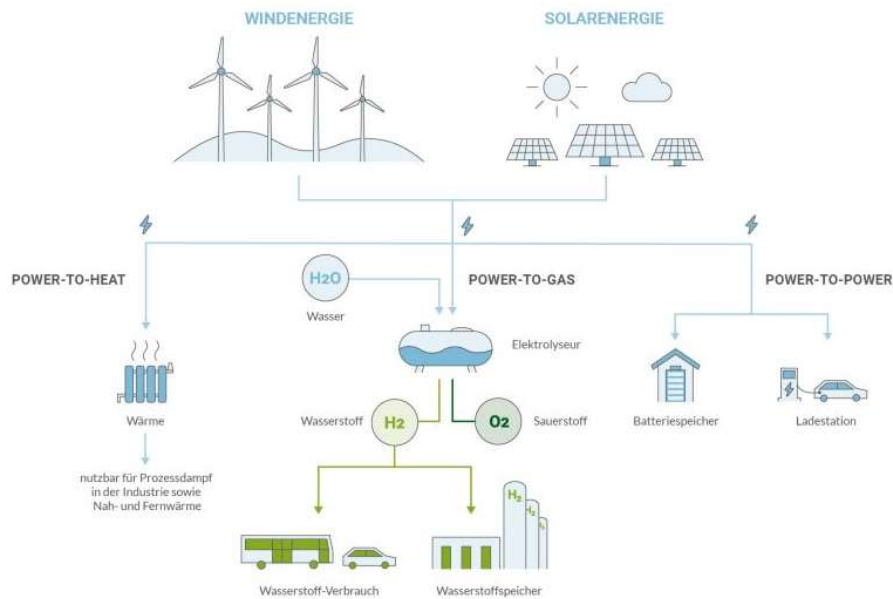


Abbildung 33: Sektorkopplung, Prinzip von Power-To-X, Quelle: Energiesystem Forschung, Onlinequelle [20.09.2021]

Die Chancen der Sektorkopplung sind vielfältig. Wie schon zuvor beschrieben, kann die Sektorkopplung bei der Integration von regenerativen Energieerzeugern helfen und sie trägt zur effizienteren Nutzung der bisherigen Infrastruktur bei.<sup>227</sup> Weiters können durch die Sektorkopplung CO<sub>2</sub>-Emissionen aufgrund des Einsatzes erneuerbarer Energien in den Bereichen Verkehr und Wärme reduziert werden.<sup>227, 228</sup> Außerdem führt eine Zunahme der Anzahl an Speichern und Umwandlungsanlagen für elektrische Energie zu einer erhöhten Versorgungssicherheit.<sup>228</sup>

<sup>222</sup> Energiesystem Forschung), Onlinequelle [20.09.2021]

<sup>223</sup> Bründlinger et al. (2018), S. 12

<sup>224</sup> Bundesministerium - Nachhaltigkeit und Tourismus, Bundesministerium - Verkehr, Innovation und Technologie (2018), S. 60, 66

<sup>225</sup> Verbund (2021), Onlinequelle [20.09.2021]

<sup>226</sup> BDWE Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2017), S. 5-6

<sup>227</sup> Ausfelder et al. (Hrsg.) (2017), S. 8-9, 30-32

<sup>228</sup> Österreichs Energie (2021), Onlinequelle [20.09.2021]

**Elektrifizierung des Verkehrs:** Der sowohl von der nationalen<sup>229</sup> als auch von der europäischen Politik<sup>230</sup> geforderte Zuwachs an Neuzulassungen von Elektrofahrzeugen führt zu einer zunehmenden Elektrifizierung des Verkehrssektors. Aktuell wächst der Bestand an Elektrofahrzeugen in Österreich erheblich (siehe Abbildung 54 im Anhang), wobei der gesamte Bestand an elektrisch betriebenen PKW im August 2021 bei ca. 1,3 % lag.<sup>231</sup> Die Elektromobilität wird in zukünftigen Szenarien nicht nur ein Verbraucher von elektrischer Energie sein, sondern auch zur Integration fluktuierender Energieerzeuger beitragen.<sup>232</sup> Der analysierten Literatur kann entnommen werden, dass der Trend der Elektromobilität auch Folgeerscheinungen nach sich ziehen wird. Unter anderem wird durch die Zunahme an Elektrofahrzeugen der Stromverbrauch steigen.<sup>232, 233</sup> Um dieser Zunahme gerecht zu werden und die Versorgung der E-Mobilität zu gewährleisten, muss die Zahl an Ladepunkten im privaten und öffentlichen Bereich steigen. Da das elektrische Verteilnetz nicht die gesamte Nachfrage zusätzlicher Ladepunkte und des damit verbundenen Energiebedarfs decken kann, müssen Leitungen und/oder Transformatoren verstärkt werden.<sup>234</sup> Ein Beispiel für diese Herausforderung wird in Abbildung 34 gezeigt. So liegt die vertragliche Hausanschlussleistung üblicherweise bei ca. 4 kW, wohingegen die Ladeleistung eines Elektrofahrzeugs 11 kW beträgt.<sup>235</sup> Daneben kann ein zu hoher Anteil an Elektrofahrzeugen aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften als Stromverbraucher zu einer Beeinträchtigung der Spannungsqualität in Verteilnetzen führen.<sup>236</sup>

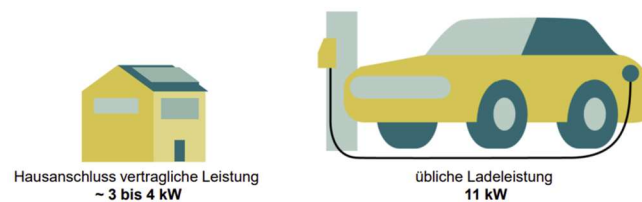


Abbildung 34: Üblicher Hausanschluss vs. übliche Ladeleistung Elektrofahrzeug, Quelle: Barbara Schmidt (2017), Onlinequelle [20.09.2021]

### Leistungselektronik

Leistungselektronische Komponenten werden zunehmend in die heutigen Stromnetze integriert, vorwiegend in Form von Umrichtern für die Stromerzeugung mittels regenerativer Energiequellen, für E-Ladesäulen oder für den Betrieb elektrischer Maschinen. Die Anwendung reicht von geringen Leistungen im Haushaltsbereich für den Betrieb elektronischer Komponenten bis zu Leistungen im zweistelligen MW-

---

<sup>229</sup> Bundesministerium - Nachhaltigkeit und Tourismus, Bundesministerium - Verkehr, Innovation und Technologie (2018), S. 58

<sup>230</sup> Europaparlament, Onlinequelle [20.09.2021]

<sup>231</sup> Statistik Austria, Onlinequelle [20.09.2021]

<sup>232</sup> Gerhardt et al. (2015), S. 20-22

<sup>233</sup> Haas et al. (2017), S. 31, 91

<sup>234</sup> Agora Verkehrswende, Agora Energiewende, Regulatory Assistance Project (RAP) (2019), S. 26-28

<sup>235</sup> Barbara Schmidt (2017), Onlinequelle [20.09.2021]

<sup>236</sup> Fasthuber (2019), S. 176

Bereich für die Hochspannungsgleichstromübertragung.<sup>237,238</sup> Die Auswirkungen auf die Netze sind vielfältig. Die niedrige Kurzschlussleistung und die Erzeugung von Oberwellen sind der Spannungsqualität nicht förderlich.<sup>239</sup> Daneben bietet diese neue Technologie unzählige Möglichkeiten der Steuerung und Regelung, bis hin zu Gridforming-Anwendungen.<sup>238</sup>

### **DC-Technologien**

Gleichspannung wird seit Entstehung der Elektrotechnik zum Transport und zur Verwertung elektrischer Energie verwendet. Obwohl die Gleichspannungs- von der Wechselspannungstechnik dominiert wurde, gab es dennoch vielfältige Anwendungen, etwa Gleichstrommotoren<sup>240</sup>, aber auch exotische Anwendungen wie die Gleichstromkurzkupplung, die in Österreich erstmals 1983 zur Kopplung mit dem Netz der osteuropäischen CENTREL-Länder eingesetzt wurde.<sup>241</sup> Aktuell ist eine Zunahme an DC-Anwendungen (Photovoltaik, Elektronik, E-Autos u. ä.) zu verzeichnen, insbesondere im Übertragungsnetz in Form der Hochspannungsgleichstromübertragung, aber auch in der Anwendung in der Industrie und im Haushaltsbereich. Die Auswirkungen und Tendenzen von DC-Technologien in den Verteilnetzen können noch nicht abschließend beurteilt werden.<sup>242</sup>

### **7.1.3 Wirtschaftstrends**

#### **Neue Kundentypen und Kundenverhalten**

Die Nutzung regenerativer Energien spiegelt sich auch in einem neuen Kundentypen wider, nämlich dem sogenannten Autarkie-Sucher. Dieser Kundentyp legt vor allem Wert auf Umweltaspekte. Daneben kann die Motivation dieses Kundentyps ein zunehmendes Kontroll- und Sicherheitsbedürfnis sein, aber auch in Pragmatismus hinsichtlich Effizienzsteigerung bestehen.<sup>243</sup> Das zunehmende Angebot an kosteneffizienten Technologien wie PV-Kleinanlagen und günstige Speichertechnologien<sup>244</sup>, aber auch die Digitalisierung<sup>245</sup> befähigt diesen Kundentyp.

Neben diesem neuen Kundentypen wird es weiterhin den klassischen Kundentypen<sup>245</sup> bzw. den ‚Versorgt-werden-Woller‘ geben, der eine passive Haltung hinsichtlich seines Energiekonsums einnimmt.<sup>243</sup> Nach einer Deloitte-Studie aus dem Jahr 2015 gewinnt jedoch das Interesse am eigenen Energieverbrauch in der österreichischen Gesellschaft an Bedeutung. Ebenfalls würden es 75 % der Befragten bevorzugen, selbst Strom zu erzeugen, und 80 % der Teilnehmenden möchten ihren Wärmebedarf mit Solarthermie

---

<sup>237</sup> Dreher et al. (2020), S.5-6

<sup>238</sup> Crastan und Westermann (2018), S. 433, 595-596

<sup>239</sup> Vetten (2015), S. 10, 43

<sup>240</sup> Brauner (2016), S. 1, 17-19

<sup>241</sup> Brauner (2018), S. 4-6

<sup>242</sup> Schwab (2015), S. 225-226, 241-244, 469-471, 518-519

<sup>243</sup> BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (2017), S. 12

<sup>244</sup> Wietschel et al. (2015), S. 131, 195, 325

<sup>245</sup> BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2016), S. 12-13

oder Wärmepumpen decken.<sup>246</sup> In Abbildung 35 wird die Entwicklung der Kunden von einem reinen Energieabnehmer zu einem Prosumer („Personen, die sowohl Stromproduzenten als auch Strombezieher sind“) skizziert. Dabei stehen neben der Stromerzeugung auch die zunehmende Intelligenz und Komplexität der Systeme im Vordergrund. Außerdem werden zukünftige Prosumer mit ihren Erzeugungsanlagen auch Dienstleistungen auf dem Energiemarkt anbieten.<sup>247</sup>

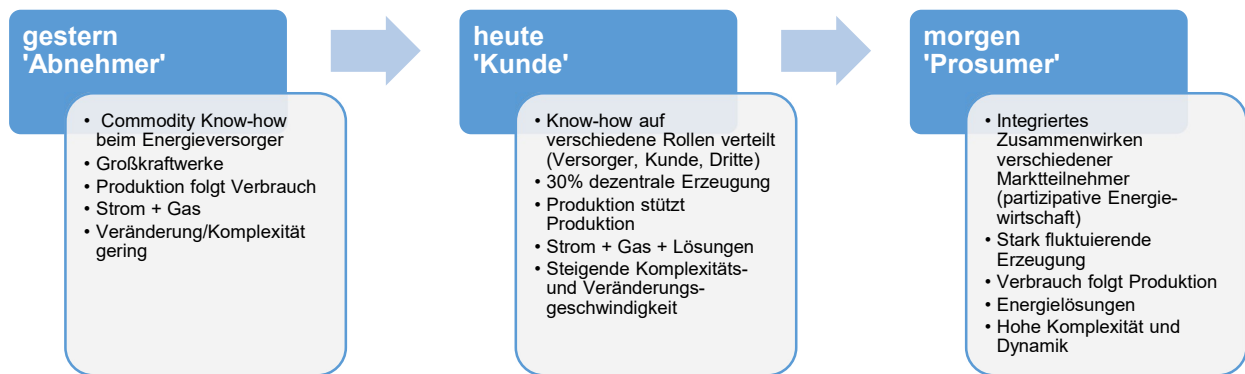


Abbildung 35: Wandel des Kunden zum Prosumer und die Rolle der EVUs, Quelle: Huener und Bez (2015), S. 342

Die Prosumer, deren Anzahl steigt, werden in Zukunft weiterhin einen Netzanschluss benötigen, bezahlen aufgrund des geringeren Stromverbrauchs jedoch geringeres Netzentgelt, was die Frage aufwirft, wie die Stromnetze in Zukunft finanziert werden können.<sup>248</sup> Der Wandel von reinen Strombeziehern zu Prosumern kann die Versorgungssicherheit insbesondere durch erhebliche Lastschwankungen gefährden. Dies kann sogar zu einer zwangsweisen Abschaltung von Kundenanlagen führen.<sup>245</sup>

Das Potential des neuen Kundentyps ist in der Erbringung von Systemdienstleistungen und den damit verbundenen Flexibilitätsoptionen wie Energiespeicher oder variable Lasten für Netzbetreiber zu sehen. Zudem kann der neue Kundentyp eine größere Menge an Information und Daten bereitstellen.<sup>247</sup>

### Neue Geschäftsmodelle

Mit der Liberalisierung der Energiewirtschaft öffnete sich der Markt für viele neue Akteure im Energiehandel. Neue gesetzliche und technische Entwicklungen bilden die Grundlagen zur Etablierung zahlreicher neuer Geschäftsmodelle. Technisch war dabei die rasante Entwicklung der Kommunikationstechnik und Rechenleistung ausschlaggebend.<sup>249</sup> Ein neues Modell, das sich in den letzten Jahren etabliert hat, ist das sogenannte virtuelle Kraftwerk. Dabei vermarktet ein Verbund von dezentralen Einheiten aus unterschiedlichen Stromproduzenten gemeinsam Strom. Durch die Steuerung über ein zentrales Leitsystem arbeitet der Verbund an Kraftwerken wie ein virtuelles Großkraftwerk. Mittlerweile können sich diesem Verbund auch Stromverbraucher, Stromspeicher und Power-to-X-Anlagen anschließen, um

<sup>246</sup> Deloitte (2015), S. 4-5

<sup>247</sup> Huener und Bez (2015), S. 341-344, 357

<sup>248</sup> Pricewaterhouse Coopers (PwC) (2016b), S. 37

<sup>249</sup> Huener und Bez (2015), S. 131-135

zusätzliche Flexibilitäten zu vermarkten.<sup>250</sup> Die technischen Möglichkeiten zur Vermarktung diverser Systemdienstleistungen zur Bereitstellung eines netzdienlichen Verhaltens werden stetig weiterentwickelt und können sowohl vom Einfamilienhaushalt als auch von einem Industriekomplex erbracht werden.<sup>251</sup> Entwicklungen wie Smart Meter, Big Data oder die Distributed-Ledger-Technologie (Blockchain) werden in Zukunft neue Geschäftsfelder eröffnen. Die aktuelle Tendenz geht in Richtung der Demokratisierung und damit auch in Richtung börsen- oder sogar bilanzgruppenunabhängigen Stromhandels.<sup>252, 253</sup>

### **Fachkräftemangel**

Mit dem zunehmenden Ausscheiden der Baby-Boomer-Generation (Jahrgänge zwischen 1946 und 1964) aus dem Arbeitsmarkt geht viel Know-how verloren. Nun treten die geburtenschwachen Jahrgänge der Generation Y (Personen, die zwischen 1980 und 1993 geboren wurden) und Generation Z (ab 1994 Geborene) in den Arbeitsmarkt ein. Diese Konstellation führt zu einem Mangel an qualifizierten Arbeitskräften. Weiters wird diese Entwicklung durch einen Wandel der Arbeitswelt angetrieben, da die Arbeit flexibler und agiler wird und die Arbeitnehmer mobiler und ortsunabhängiger werden. Hinzukommt ein zunehmender Wertekonflikt (Work-Life-Balance, Hierarchien etc.) zwischen den Generationen.<sup>254,255</sup> Auch die Elektrizitätswirtschaft und die Energietechnik sind von dieser Entwicklung betroffen. Das beginnt mit der aufwändigen Suche zahlreicher Unternehmen nach qualifizierten Lehrlingen und reicht bis zum Rückgang der Zahl an Studenten im technischen Bereich.<sup>256</sup>

### **Steigende Strompreise**

In den letzten gut 25 Jahren ist der Preis für elektrische Energie und den Netzanschluss für Endverbraucher nicht im selben Maß gestiegen wie die Inflation. Werden die Steuern und Abgaben in die Preisentwicklung einbezogen, zeigt sich ein deutlich größerer Anstieg der Preise (siehe Abbildung 55 und Abbildung 56) im Anhang).<sup>257,258</sup> Mit dem zunehmenden Ausbau erneuerbarer Energien könnten die Energiekosten weiter fallen.<sup>259</sup> Diese Entwicklung wird jedoch durch die zunehmenden Kosten für das Netz gebremst, insbesondere, da Kosten für den Redispatch und den zwingend notwendigen Netzausbau anfallen.<sup>260</sup> Aktuelle Entwicklungen wie die COVID-19-Pandemie und die ‚Gaskrise‘ führen wiederum zu erheblichen Schwankungen und zu einem Anstieg der Energiekosten, dürften aber die Strompreise nicht nur für die

---

<sup>250</sup> Next-Kraftwerke, Onlinequelle [07.05.2022]

<sup>251</sup> Wietschel et al. (2015), S. 417-431

<sup>252</sup> Pricewaterhouse Coopers (PwC) (2016a), S. 26-27

<sup>253</sup> Pricewaterhouse Coopers (PwC) (2016b), S. 44-45

<sup>254</sup> Absolventa, Onlinequelle [07.05.2022]

<sup>255</sup> Kolland (2022), Onlinequelle [07.05.2022]

<sup>256</sup> Elektrowirtschaft (2021), Onlinequelle [07.05.2022]

<sup>257</sup> Österreichs Energie (2020), S. 7

<sup>258</sup> Österreichs Energie (2017), S. 7

<sup>259</sup> Kraigher (2022), Onlinequelle [07.05.2022]

<sup>260</sup> Austrian Power Grid (APG) und Vorarlberger Übertragungsnetz (VÜN) (2021), S. 25, 41

Endverbraucher, sondern auch für den Großhandel in Zukunft weiter in die Höhe treiben.<sup>261</sup> Damit sind weitreichende Folgen für die Wirtschaft verbunden, wie die Zunahme der Inflation und eine Rezession. Es könnte dadurch in der Elektrizitätswirtschaft aber auch der Raum für Innovationen und Investitionen besonders in Hinblick auf eine energieautarke Zukunft geschaffen werden.

### 7.1.4 Umweltrends

#### Klimawandel

Die globale Erderwärmung hat zahlreiche Auswirkungen auf die Umwelt, z. B. eine Zunahme an Extremwetterereignissen wie Überflutungen und Stürme, verringerten Niederschlag, einen Anstieg des Meeresspiegels und einen Temperaturanstieg der Böden.<sup>262</sup> Dies hat auch unterschiedliche Folgen für die Energiewirtschaft und die Energieversorgung. Unter anderem ist mit ökonomischen<sup>263</sup> und diversen anderen Auswirkungen auf die Energieversorgung zu rechnen. Dadurch werden jedoch auch ein klimaschonendes Handeln (in wirtschaftlicher Hinsicht) und die Entwicklung und der Ausbau grüner Technologien gefördert. Daneben bedarf es zentraler Maßnahmen wie der Elektrifizierung von Sektoren wie dem Verkehr, die bis dato maßgeblich von fossilen Energieträgern abhängig ist, sowie Maßnahmen zur Effizienzsteigerung.<sup>264</sup>

### 7.1.5 Politiktrends

#### Dekarbonisierung

Die globale Klimaerwärmung führt dazu, dass die Verwendung fossiler Energien zunehmend kritisiert wird.<sup>265</sup> Mit dem Umstieg von fossilen auf regenerative Energiequellen soll die Dekarbonisierung des Energiesektors gelingen. Daneben soll durch Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung<sup>266</sup> der steigende Energiebedarf reduziert werden.<sup>267</sup> Diese Maßnahmen werden auf nationaler Ebene durch die #mission2030 der österreichischen Bundesregierung<sup>268</sup> und auf europäischer Ebene mit dem Clean Energy Package<sup>269</sup> vorangetrieben. Darüber hinaus gibt es internationale Bestrebungen wie das Übereinkommen von Paris mit dem Zweck, die Klimaerwärmung aufzuhalten.<sup>270</sup> Das zunehmende Interesse der Politik an der Dekarbonisierung hat neben der Relevanz für den gesamten Planeten auch zunehmend Potential für

---

<sup>261</sup> Österreichs Energie (2022), Onlinequelle [08.05.2022]

<sup>262</sup> Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2022), Onlinequelle [08.05.2022]

<sup>263</sup> Bundesministerium - Nachhaltigkeit und Tourismus, Bundesministerium - Verkehr, Innovation und Technologie (2018), S. 76

<sup>264</sup> Brauner (2016), S. 10-13, 129-133

<sup>265</sup> Zimmermann und Wolf (2016), S. 3

<sup>266</sup> Wietschel et al. (2015), S. 7-10

<sup>267</sup> Brauner (2016), S. 4-5

<sup>268</sup> Bundesministerium - Nachhaltigkeit und Tourismus, Bundesministerium - Verkehr, Innovation und Technologie (2018), S. 6-8

<sup>269</sup> European Commission, Onlinequelle [28.09.2021]

<sup>270</sup> BGBl. III Nr. 197/2016 (2016), S. 4

die Energiewirtschaft. Insbesondere kommt es zur Entwicklung neuer Technologien<sup>266</sup> sowie wirtschaftlicher Perspektiven und Geschäftsfelder.<sup>271</sup>

Dieser Politiktrend ist auch mit Risiken verbunden. Besonders der zunehmende Ausbau erneuerbarer Energien gefährdet eine stabile Stromversorgung, es steigen die Kosten für Regelenergie und es kommt zu einer immer komplexeren Marktsituation, die vor allem durch erhebliche Strompreisschwankungen gekennzeichnet ist.<sup>272</sup>

### Zunahme an Regularien

In der dritten Periode der Entwicklung des elektrischen Energiesystems (siehe Kapitel 2.3) kam es zur Liberalisierung der Strommärkte. Im Zuge dieses Liberalisierungsprozesses kam es 2003 zur sogenannten Beschleunigungsrichtlinie (EU-Richtlinie Elektrizitätsbinnenmarkt 2003/54/EG vom 26. Juni 2003) mit dem Ziel, die europaweite Öffnung der Strommärkte zu beschleunigen. In dieser Richtlinie wurde erstmals die Errichtung einer nationalen Regulierungsbehörde für Strom und Gas vorgeschrieben. Es wird entsprechend Abbildung 36 der Monopolbereich des elektrischen Netzes reguliert.<sup>273</sup> In Österreich obliegt die Aufgabe der Regulierung der im Jahr 2001 gegründeten E-Control.<sup>274</sup> Die Regulierungsmaßnahmen wurden in den vergangenen Jahren vorwiegend durch europäische Richtlinien<sup>273</sup> und Bundesgesetze vorangetrieben.<sup>275</sup>



Abbildung 36: Regulierung des Netzbereichs in der Wertschöpfungskette, Quelle: Zahoransky et al. (2010), S. 400

Neben den laufenden Regulierungstätigkeiten der E-Control, die die Prüfung und Genehmigung allgemeiner Bedingungen von Netzbetreibern, die Festsetzung der Systemnutzungsentgelte, die Zulassung für die Tätigkeit als Bilanzgruppenverantwortlicher sowie die Überwachung und Entflechtung des Strommarkts umfassen, trägt die Behörde auch maßgeblich zur Energiewende bei. Im Rahmen des europäischen Clean Energy Packages erhalten die Energieregulierungsbehörden zusätzliche Kompetenzen zur Umsetzung der Klimaziele.<sup>276</sup> Neben dem Fokus auf Klimaschutz werden die Digitalisierung und die damit verbundene IT-Sicherheit zunehmend an Bedeutung gewinnen.<sup>277</sup> Mit der zunehmenden ‚Regulierungswut‘<sup>278</sup> ist eine der zukünftigen Herausforderungen auch das Management der

---

<sup>271</sup> Ernst & Young GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (2021), S. 23-24

<sup>272</sup> Pricewaterhouse Coopers (PwC) (2016b), S. 15, 26-27

<sup>273</sup> Zahoransky et al. (2010), S. 398-402

<sup>274</sup> E-Control, Onlinequelle [25.09.2021]

<sup>275</sup> E-Control, Onlinequelle [25.09.2021]

<sup>276</sup> E-Control (2020), S. 194-196

<sup>277</sup> BDWE Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2016), S. 71-72

<sup>278</sup> Pricewaterhouse Coopers (PwC) (2016b), S. 2



kontinuierlichen Regulierungsänderungen.<sup>279</sup> Das Potential der Regulierung besteht vor allem darin, dadurch höhere ökonomische Effizienz, eine Senkung von Treibhausgasen<sup>273</sup> und eine Steigerung der Versorgungssicherheit zu erreichen.<sup>276</sup>

### Energieeffizienz

Die Politik ist von hoher Bedeutung dafür, dass der sogenannte Point of no Return nicht erreicht wird, ab dem das verfügbare Potential regenerativer Ressourcen verbraucht ist und die Entwicklung wieder in die Richtung fossiler Energieversorgung geht. Eine der zentralen Maßnahmen ist dabei die Steigerung der Energieeffizienz, um den Bedarf an Energie zu senken, damit der Point of Return erreicht werden kann. Der Bedarf an Effizienzmaßnahmen wird in Abbildung 37 verdeutlicht.<sup>280</sup>

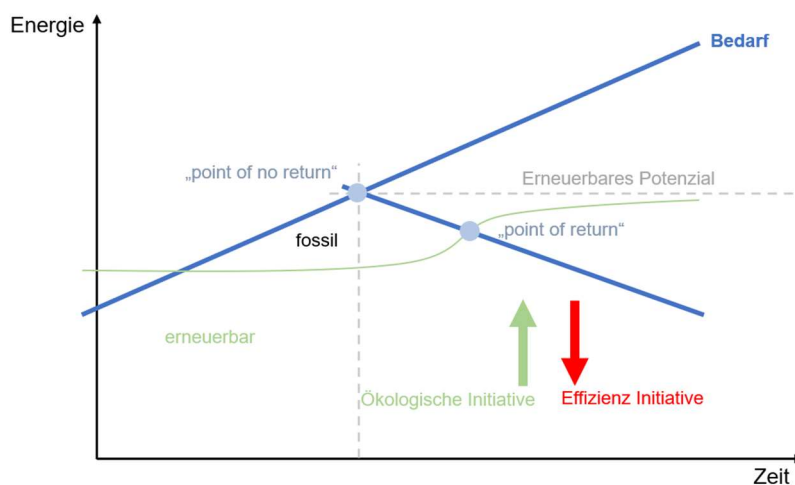


Abbildung 37: Point-of-no-Return-Lösung durch Effizienz und Nachhaltigkeit, Quelle: In Anlehnung an Brauner (2016), S. 13

In den letzten Jahren wurden umfangreiche Energieeffizienzmaßnahmen getroffen, wie das Energieeffizienzgesetz, durch das Energielieferanten und Großunternehmen zu Einsparmaßnahmen bewegt werden.<sup>281</sup> Daneben gibt es weitere nationale und europäische Maßnahmen in Form von Verordnungen, aber auch Investitionen zur Verbesserung der Energieeffizienz in den Bereichen Haushalt (z. B. Energieeffizienzklassen der Haushaltsgeräte, Gebäudesanierungen, Heizungssysteme), Gewerbe (z. B. Kühlgeräte, Bürogeräte, Beleuchtung), Verkehr (z. B. effizientere PKW, Elektrofahrzeuge) und Industrie (z. B. effizientere Industrieanlagen und Elektromotoren).<sup>282,283</sup> Die aktuellen Maßnahmen werden laut Austrian Energy Agency langfristige Effekte haben, die bis in das Jahr 2045 spürbar sein werden (siehe Abbildung 57 im Anhang).<sup>284</sup>

<sup>279</sup> Ernst & Young GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (2021), S. 32

<sup>280</sup> Brauner (2016), S. 10-14

<sup>281</sup> BGBl. I Nr. 68/2020 (2020), §2. und §3.

<sup>282</sup> Bundesministerium - Nachhaltigkeit und Tourismus, Bundesministerium - Verkehr, Innovation und Technologie (2018), S. 40, 47

<sup>283</sup> Austrian Energy Agency (2016), Onlinequelle [08.05.2022]

<sup>284</sup> Bäck et al. (2020), S. 23

## **8 ENTWURF EINES SZENARIENBASIERTEN TECHNOLOGIE FRÜHERKENNUNGS- U. TECHNOLOGIEBEWERTUNGSPROZESS**

### **8.1 Einleitung**

Die Elektrizitätswirtschaft ist von Besonderheiten geprägt, die sie deutlich von anderen Wirtschaftszweigen abheben. Diese wesentlichen Paradigmen wurden in Kapitel 2.1 bereits erläutert, sollen an dieser Stelle aber nochmals zusammengefasst werden. Es sind mangelnde Speicherbarkeit, Netzgebundenheit, Leitungsgebundenheit, Gesamtsystemabhängigkeit, Langlebigkeit der Anlagen, Kapitalintensiv, lange Vorlaufzeiten, dargebotsabhängige bzw. bedarfsgerechte Erzeugung und Strom als essenzielles Wirtschaftsgut. Zudem wurden 19 Trends identifiziert und beschrieben, die die Elektrizitätswirtschaft gemäß der Literaturrecherche prägen. Einige der möglichen Entwicklungen könnten in Zukunft die Versorgungssicherheit des österreichischen Stromsystems maßgeblich beeinflussen. Dabei muss zwischen zwei Arten von Versorgungssicherheit unterschieden werden, nämlich zwischen der Versorgungsqualität (bestehend aus der Versorgungszuverlässigkeit, der Spannungsqualität, der operativen Versorgungssicherheit und der kommerziellen Qualität) und der Versorgungssicherung (langfristige Versorgungssicherheit, Energielenkung).

Auf Basis der beschriebenen Paradigmen sowie möglicher Trends soll ein Vorgehensmodell für einen szenarienbasierten Technologiefrüherkennungs- und -bewertungsprozess entwickelt werden. Das Ziel des Prozesses ist es, Technologien zu identifizieren, mit denen die zukünftigen Entwicklungen beherrscht werden können. Dabei ist die Zukunft der Branche von einer Vielzahl an Trends geprägt, die teilweise einen unterschiedlich starken Einfluss ausüben. Neben dem Einfluss ist die Entwicklung mancher Trends fraglich. Durch den Prozess sollen folgende Fragen in Hinblick auf die zukünftigen Entwicklungen beantwortet werden:

- Sind die identifizierten Trends auch wirkliche Trends für die Elektrizitätswirtschaft?
- Wie stark ist der Einfluss dieser Trends auf die Zukunft?
- Wer oder was sind die Treiber dieser Trends?
- Welche möglichen Chancen und Risiken bestehen bei diesen Trends?
- Wie hoch ist die Unsicherheit hinsichtlich dieser Trends?
- Wie könnten mögliche Ausprägungen dieser Trends gestaltet sein?

Dabei gliedern sich die oben beschriebenen Trends in Gesellschafts-, Politik-, Wirtschafts-, Umwelt-, aber auch Technologietrends. Neben den Technologietrends muss der Fokus des Prozesses auch auf konkreten Technologien liegen. Dabei sollen bestehende Technologien identifiziert und beschrieben werden. Außerdem sollen auch neue technologische Entwicklungen berücksichtigt werden. Nach möglichen zukünftigen Technologien soll daher mithilfe von Methoden aus der Technologiefrüherkennung gescannt werden. In Kapitel 5 wurden die Technologien bereits beschrieben, die einen Beitrag zur Versorgungssicherheit leisten. Im zu erarbeitenden Prozess sollen mögliche Technologien identifiziert, übersichtlich angeordnet und bewertet werden. Dabei sollen folgende Fragen beantwortet werden:

- Welche Technologien zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit gibt es aktuell?

- Welche Technologien zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit könnten in Zukunft eingesetzt werden?
- Wie weit ist die Entwicklung der einzelnen Technologien fortgeschritten?
- Welche Chancen und Risiken bestehen bei den einzelnen Technologien?
- Wie können die beschriebenen Technologien übersichtlich gegliedert werden?

Weiters sollen durch den Prozess die Themenblöcke Trends und Technologien in Einklang gebracht werden. Dabei wird eine Methodik entwickelt, bei der Zukunftsszenarien mit Technologien kombiniert werden, so dass am Ende ein Konzept entsteht, mit dem die Versorgungssicherheit in elektrischen Verteilnetzen gewahrt werden kann. Da in der Elektrizitätswirtschaft lange Vorlaufzeiten bestehen, soll mit dem Prozess versucht werden, ca. zehn Jahre in die Zukunft zu blicken.

## 8.2 Methodenauswahl

Als Basis für die Methodologie der vorliegenden Arbeit werden bestehende Methoden herangezogen und unter Berücksichtigung der im vorhergehenden Unterkapitel beschriebenen Vorgaben und Fragestellungen zu einem schlüssigen Prozess kombiniert.

Zur Ermittlung möglicher aktueller und zukünftiger Technologien können Expertenbefragungen (Kapitel 4.3.1) entsprechend Abbildung 38 durchgeführt werden. Als Ausgangsbasis dieser Experteninterviews kann eine Literaturrecherche bzw. es können deren Ergebnisse herangezogen werden. Das Kernelement des Vorgehensmodells sollen jedoch Szenarien bilden. Diese haben sich als Methode in der Technologiefrüherkennung und -bewertung bewährt (Kapitel 4.3.6) und es kann der geforderte Zeithorizont von zehn Jahren entsprechend Abbildung 38 abgedeckt werden. Dabei dient das bereits in der Praxis erprobte Vorgehensmodell von Pillkahn (Kapitel 6.4.5) als Grundlage. Die grundlegenden Methoden sind dabei die Konsistenzanalyse (Kapitel 6.4.2.2), die Wechselwirkungsanalyse (Kapitel 6.4.2.3), die Wilson-Matrix (Kapitel 6.4.2.4) sowie die Morphologische Analyse (Kapitel 6.4.2.5).

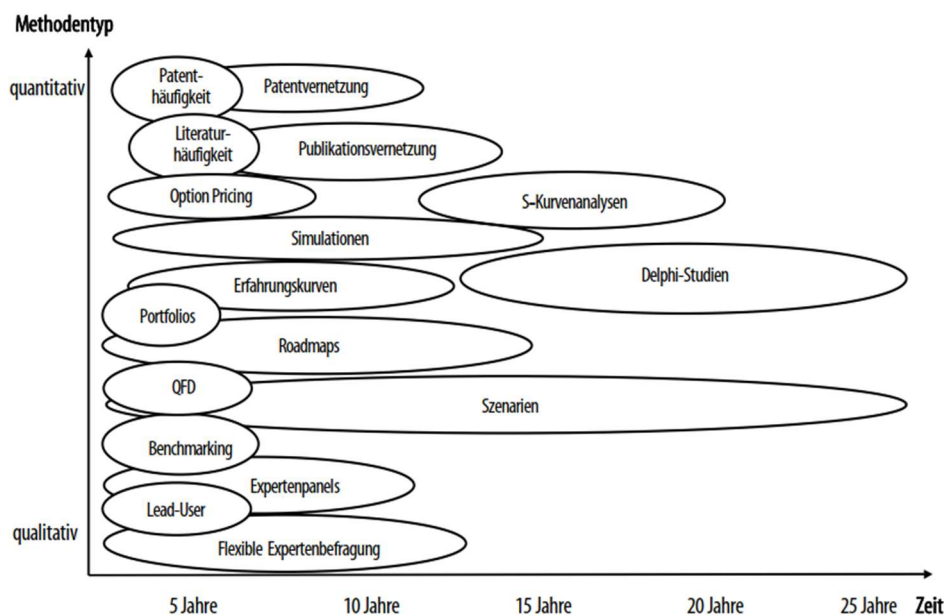


Abbildung 38: Eignung der Methoden der Technologiefrüherkennung und Technologiebewertung, Quelle: Möhrle (2007), S. 73

Als wesentlicher Prozessschritt von Pillkahn müssen Zukunftselemente ermittelt werden. In der vorliegenden Arbeit sollen Trends als Zukunftselemente herangezogen werden, die nach Pillkahn u. a. über Expertenbefragungen (Kapitel 4.3.1) und Brainstorming (Kapitel 4.3.2) ermittelt werden können.<sup>285</sup> Damit möglichst alle Schritte der Szenariotechnik abgedeckt werden, soll das Modell um eine zusätzliche SWOT-Analyse (Kapitel 6.4.2.1) ergänzt werden. Mithilfe der SWOT-Analyse werden auch Zukunftselemente identifiziert, die nicht in Form von Trends abgebildet werden. Die zuvor beschriebenen Methoden sind nach einem Auszug aus der Methoden-Kombinations-Matrix (siehe Tabelle 10) miteinander kombinierbar. Zusätzlich zeigt sich, dass diese Methoden in Form eines Workshops durchgeführt werden können.

Methoden	Szenariotechnik
Literaturreview	H
Trendextrapolation	VH
Zukunftsworkshops	H
Brainstorming	H
Interviews	H
SWOT-Analyse	H
Wechselwirkungsanalyse	VH
Morphologische Analyse	VH
Kombinierbarkeit von Methoden: wenig (leer), moderat (M), hoch (H), sehr hoch (VH)	

Tabelle 10: Methoden-Kombinations-Matrix (MCM), dabei wurde in einer Studie mit 886 untersuchten Fällen die Anzahl an Methodenkombinationen ermittelt, Quelle: In Anlehnung an Rafael Popper (2008), S. 81

Mithilfe einer Nutzwertanalyse (Kapitel 4.3.4) können sodann die Entwicklung und der Einsatz der verschiedenen Technologien in den einzelnen Szenarien bewertet werden. Zur besseren grafischen Darstellung können die Technologien einander mithilfe von Technologieportfolien (Kapitel 4.3.5) gegenübergestellt werden. Dafür müssen jedoch die Kriterien bereits in der Nutzwertanalyse sinnvoll definiert werden.<sup>286</sup>

Damit aus den Technologieportfolien mögliche Konzepte zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit entwickelt werden, kann abschließend die Methodik der Zukunftsbilder (Kapitel 6.4.3) verwendet werden.

### 8.3 Spezifisches Vorgehensmodell

In diesem Abschnitt wird unter Miteinbeziehung der Besonderheiten der Elektrizitätswirtschaft das Vorgehensmodell für einen szenarienbasierten Technologiefrüherkennungs- und -bewertungsprozess vorgestellt. Um eine systematische Vorgehensweise zu gewährleisten, ist der Aufbau in vier Phasen gegliedert, die zeitlich und logisch voneinander getrennt sind. In jeder Phase gibt es ein Zwischenziel, dadurch kann der Fortschritt effizienter überwacht werden. In Abbildung 39 ist das Vorgehensmodell dargestellt. Nachfolgend werden die einzelnen Phasen des Modells beschrieben.

<sup>285</sup> Pillkahn (2007), S. 185

<sup>286</sup> Horx Matthias (2010), S. 389-399

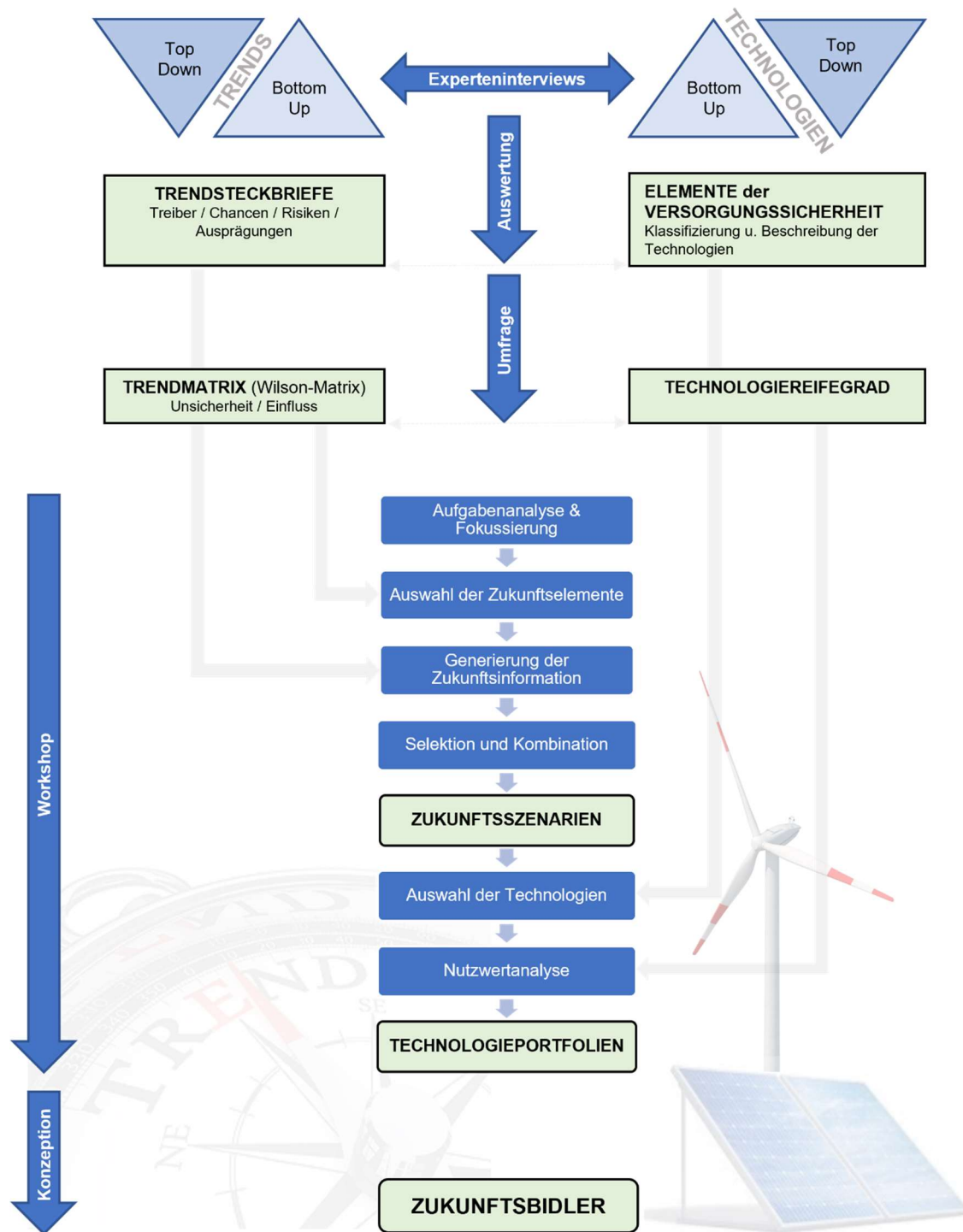


Abbildung 39: Szenarienbasierter Technologiefrüherkennungs- und Technologiebewertungsprozess, Quelle: Eigene Darstellung

### 8.3.1 Phase 1: Experteninterviews

Phase 1 des Vorgehensmodells umfasst Experteninterviews und deren Auswertung. Damit die Qualität und Validität gewahrt bleiben, müssen die befragten Personen sorgfältig ausgewählt werden. Dabei sind insbesondere ihre Ausbildung, ihre berufliche Tätigkeit und ihre Berufserfahrung entscheidend. Aufgrund der komplexen und umfangreichen Themenstellung sollten Experten aus möglichst vielfältigen Tätigkeitsbereichen ausgewählt werden, um die Themenstellung aus verschiedenen Sichtweisen zu beleuchten. Diese Tätigkeitsbereiche können folgende sein:

- Energieversorgungsunternehmen,
- elektrischer Anlagenbauer,
- Forschungseinrichtung,
- Politik und Regulierungsbehörde und
- Interessensvertretung.

Das Experteninterview soll in Form eines semistrukturierten Interviews und unter Zuhilfenahme eines Interviewleitfadens durchgeführt werden. Der Vorteil bei dieser Methode ist, dass gezielt auf die Expertise der einzelnen Experten eingegangen werden kann. Es sollen so viele Interviews durchgeführt werden, bis keine neuen Erkenntnisse gewonnen werden können. Das Ziel bei den Interviews besteht darin, die relevanten Trends der Elektrizitätswirtschaft und damit die Zukunftselemente zu bestimmen. Außerdem sollen mithilfe der Interviews bestehende sowie mögliche neue Technologien ermittelt werden, die einen Beitrag zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit leisten. Damit erfüllen die Experteninterviews auch den wesentlichen Schritt der Technologiefrüherkennung.

In Abbildung 39 werden die Trends und Technologien Bottom-up mithilfe der Experteninterviews ermittelt. Zusätzlich kann für die Ermittlung auch bestehendes Wissen genutzt werden, das Top-down in die Trend- und Technologiebestimmung einfließt. Dieses Wissen kann z. B. in der Organisation vorhanden sein, aber auch durch eine Literaturrecherche gewonnen werden. Dabei kann auf die in Kapitel 5 beschriebenen Technologien und die in Kapitel 7 aufgelisteten Trends zurückgegriffen werden.

Im Anschluss müssen die Interviews ausgewertet werden. Dazu ist u. a. die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring geeignet, die in Kapitel 4.3.1 beschrieben wurde. Durch die Analyse sollen die folgenden Ergebnisse erzielt werden:

**Trendsteckbriefe:** In diesen werden die einzelnen Trends prägnant beschrieben. Außerdem sollen sie die Treiber sowie Chancen und Risiken der einzelnen Trends enthalten. Mithilfe des Top-down-/Bottom-up-Ansatzes sollen zudem mögliche Ausprägungen der einzelnen Trends ermittelt werden.

**Elemente der Versorgungssicherheit:** Die identifizierten Technologien sollen anhand der Elemente der Versorgungssicherheit (Kapitel 3.4) klassifiziert und beschrieben werden.

### 8.3.2 Phase 2: Umfrage

In dieser Phase sollen zwei Umfragen zu den Themengebieten Trends und Technologien durchgeführt werden. Für die Umfrage ist einerseits die Anzahl, andererseits aber auch die Qualität der Teilnehmer entscheidend. Aufgrund der Komplexität der Themenstellung sollte jedoch die Expertise der Teilnehmer im Vordergrund stehen. Die Umfrage zum Thema Trends hat zum Ziel, eine **Wilson-Matrix** (Kapitel 6.4.2.4) zu erstellen. Durch die Umfrage zum Thema Technologien soll das **Technologie-Readiness-Level** (Kapitel 4.3.3) eingeschätzt werden.

### 8.3.3 Phase 3: Workshop

In Phase 3 des Technologiefrüherkennungs- und -bewertungsprozesses wird ein Workshop durchgeführt. Dieser soll in einem Unternehmen aus der Elektrizitätswirtschaft durchgeführt werden. Dies kann ein Energieversorger sein, aber auch ein elektrischer Anlagenbauer wäre denkbar. Der Workshop erfolgt in

mehreren Schritten. Dabei gibt es ein Zwischenziel, das mit der Erstellung von Zukunftsszenarien erreicht ist. Schlussendlich soll im Workshop jedoch für jedes Zukunftsszenario ein eigenes Technologieportfolio entwickelt werden. Im Folgenden werden die einzelnen Schritte beschrieben.

**1. Aufgabenanalyse und Fokussierung:** Der Workshop beginnt mit der Festlegung der Zielsetzung, damit die Zielvorgaben mit den Erwartungen der Teilnehmer des Workshops abgeglichen werden können. Dazu sollte im ersten Schritt die Erwartungshaltung der Teilnehmer abgefragt werden, um im Anschluss die Teilnehmer über die Möglichkeiten von Zukunftsbildern aufzuklären. Dazu kann Tabelle 7 zur Hilfe herangezogen werden. Zugleich sollen die Teilnehmer auch über das konkrete Ziel des Workshops informiert werden. Die Ziele sollten vorab mit der Ansprechperson des Unternehmens geklärt werden. Mögliche Ziele können Kapitel 6.3.2 entnommen werden.

Im Anschluss soll eine Analyse der Ist-Situation stattfinden. Dazu kann die **SWOT-Analyse** (Kapitel 6.4.2.1) verwendet werden, bei der Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken analysiert werden. Bei der Fragestellung sollte stets das Thema Versorgungssicherheit bedacht werden. Die SWOT-Analyse hat den Zweck, mögliche Zukunftselemente zu identifizieren, die nicht in Form von Trends abgebildet werden können. Ist die aktuelle Situation erfasst und wurden mögliche Probleme identifiziert, soll das Untersuchungsfeld abgegrenzt werden. Dafür sind folgende Punkte festzulegen:

- Zeitrahmen der Untersuchung  
Dieser sollte zwischen fünf und 15 Jahren liegen.
- Betrachtete Region  
Die Region, die betrachtet wird, liegt bevorzugt innerhalb von Österreich.
- Fokus  
Dem Fokus kommt eine besondere Bedeutung zu und es sollten sich die Fragen gestellt werden, welcher Unternehmensbereich, welche Netzebenen, welche Kundengruppen und welche Arten der Versorgungssicherheit untersucht werden sollen. Zudem kann der Fokus auf spezifische Elemente der Versorgungssicherheit gelegt werden?

**2. Auswahl der Zukunftselemente:** Die Zukunftselemente wurden bereits im ersten Prozessschritt (Experteninterviews) bestimmt, im zweiten Prozessschritt bewertet und fließen nun in die Auswahl der Zukunftselemente ein. Die ermittelten Trends werden den Teilnehmern nun vorgestellt. Sodann sollen die Teilnehmer die für die Untersuchung relevanten Zukunftselemente bestimmen. Hier sollte eine maximale Anzahl an möglichen Elementen, je nach Umfang des Workshops, definiert werden. Nach Pillkahn sind vier bis acht Elemente für ein schlüssiges Szenario ausreichend (siehe Kapitel 6.4.5). Im Anschluss werden die von den Teilnehmern bestimmten Zukunftselemente mit den kritischen Elementen aus der **Trendmatrix** aus dem zweiten Prozessschritt verglichen. Die ausgewählten Elemente, die sich mit den kritischen Elementen aus der **Trendmatrix** decken, fließen in die Szenarien ein. Vorteilhaft ist dabei, dass eine große homogene Gruppe die Trends besser einstufen kann als eine kleine Gruppe. Die ausgewählten Trends, die anhand der Trendmatrix als unkritisch eingestuft wurden, werden im Anschluss diskutiert. Bei der Diskussion besteht das Ziel, dass Trends in die Szenarien einfließen, die für das spezifische Unternehmen einen hohen Stellenwert haben. Dabei können folgende Entscheidungen getroffen werden:

- Der Trend fließt in das Szenario ein, hat jedoch eine fixe Ausprägung. Gegebenenfalls kann zusätzlich ein anderer kritischer Trend in das Szenario einfließen.
- Der Trend fließt in das Szenario ein, wird jedoch kritisch gesehen und kann unterschiedliche Ausprägungen annehmen.
- Der Trend wird für die Szenarien nicht berücksichtigt. Alternativ kann ein anderer kritischer Trend in das Szenario einfließen.

**3. Generierung der Zukunftsinformation:** In diesem Schritt müssen die einzelnen Zukunftselemente und deren Ausprägungen zu plausiblen Zukunftsbildern kombiniert werden. Da die Zukunftselemente bereits bestimmt sind, ist dieser Schritt den einzelnen Ausprägungen gewidmet. Anhand der durchgeführten Interviews wurden bereits mögliche Ausprägungen der Zukunftselemente ermittelt. Diese sollen nun in der Gruppe diskutiert werden. Anhand der Diskussion können einzelne Ausprägungen angepasst bzw. umformuliert werden. Gegebenenfalls können die Zukunftselemente um spezifische Ausprägungen ergänzt werden. Dies kann in Form eines **Brainstormings** sowie in einer Diskussion erfolgen.

**4. Selektion und Kombination:** Da nun die Zukunftselemente und deren Ausprägungen definiert wurden, müssen diese zu plausiblen Zukunftsbildern kombiniert werden. Es sollten dabei mindestens zwei Zukunftsszenarien erstellt werden, nämlich ein positives und ein negatives Extremszenario.

Der Aufwand und die Methodik hängen maßgeblich von der Anzahl an Zukunftselementen ab. Dabei wird nach Pillkahn der Standardansatz und der Maximalansatz unterschieden<sup>287</sup> und es gilt:

- Standardansatz ( $\leq 8$  Zukunftselemente)  
Unter Verwendung der **Morphologischen Matrix** (Kapitel 6.4.2.5) werden die einzelnen Ausprägungen zu Zukunftselementen kombiniert. Die Plausibilität muss dabei durch die Teilnehmer des Workshops überprüft werden.
- Maximalansatz ( $> 8$  Zukunftselemente)  
Vor der Kombination der Elemente zu Zukunftsbildern erfolgen eine **Konsistenzanalyse** (Kapitel 6.4.2.2) und im Anschluss die **Wechselwirkungsanalyse** (Kapitel 6.4.2.3). Daraus ergibt sich, welche Ausprägungen miteinander kombiniert werden sollen. Im Anschluss erfolgt wie beim Standardansatz die Anwendung der **Morphologischen Matrix** (Kapitel 6.4.2.5).

Nachdem die Ausprägungen der einzelnen Szenarien fixiert wurden, sollen die einzelnen Szenarien analysiert werden. Dabei sollen die Szenarien gedanklich skizziert und auf Plausibilität überprüft werden. Im Anschluss erhält jedes Szenario einen Namen. So entstehen in diesem Prozessschritt als Zwischenergebnis die Zukunftsszenarien.

**5. Auswahl der Technologien:** Im ersten Prozessschritt wurde bereits die Frage gestellt, welche Elemente der Versorgungssicherheit untersucht werden sollen. Je nach Anzahl an zu untersuchenden Elementen muss aus Zeitgründen die Anzahl an zu untersuchenden Technologien beschränkt werden. Daher soll anhand der Technologie-Matrix und der Elemente der Versorgungssicherheit eine Auswahl an Technologien getroffen werden.

---

<sup>287</sup> Pillkahn (2007), S. 206



**6. Nutzwertanalyse:** Im vorletzten Schritt werden die einzelnen Technologien einer **Nutzwertanalyse** (Kapitel 4.3.4) unterzogen. Dabei müssen zuerst die Kriterien bestimmt werden. Mögliche Kriterien sollen schon vor dem Workshop anhand der Experteninterviews identifiziert werden. Dabei sollen anhand der Kriterien die relative Technologieposition sowie die Technologieattraktivität bestimmt werden. Besonders in Hinblick auf die Technologieattraktivität soll die Bewertung im speziellen Anhand der Szenarien erfolgen, sprich wie interessant ist der Einsatz dieser Technologie innerhalb des jeweiligen Szenarios. Es können unter anderem die Bewertungsgrößen aus Tabelle 11 herangezogen werden. Bei den Kriterien muss berücksichtigt werden, ob ein EVU oder ein elektrischer Anlagenbauer untersucht wird. Den das EVU verwendet die Technologien, wird diese jedoch nicht Entwickeln. Ein Anlagenbauer (entwickelt) und errichtet die Anlagen, führt in der Regel jedoch keinen Betrieb.

Relative Technologieposition	Technologieattraktivität
Entwicklungsressourcen	Weiterentwicklungspotenzial
Know-How	Anwendungsbreite
Beherrschungsgrad	Aufwand und Risiko
Realisierungsgeschwindigkeit	Ausbreitungsgeschwindigkeit
Komplementärtechnologien	Synergetischer Nutzen
Strategieunterstützend	

Tabelle 11: Bewertungsgrößen für die Nutzwertanalyse, Quelle: in Anlehnung an Gochermann (2020), S. 23-24

Im finalen Schritt werden Technologieportfolien anhand der Nutzwertanalyse erstellt. Pro entwickeltem Szenario entsteht ein individuelles Technologieportfolio. Die Portfolien sowie der Workshop können im Anschluss noch diskutiert werden.

### 8.3.4 Phase 4: Konzeption

Auf Basis der Zukunftsszenarien und der Technologieportfolien werden nun Konzepte entwickelt. Diese Konzepte sollen darlegen, wie in Zukunft eine sichere und zuverlässige Stromversorgung gewährleistet werden kann. Die Konzepte werden in Form von Zukunftsbildern (Kapitel 6.4.3) kommuniziert. Dabei werden die Konzepte einerseits textlich skizziert, andererseits soll die Vermittlung der Konzepte unter Zuhilfenahme geeigneter Medien (Bilder, Videos etc.) erfolgen. Die Zukunftsbilder beziehen sich auf folgende Punkte:

- Szenarien und deren einzelne Ausprägungen,
- Technologieportfolien und
- Unternehmensanalyse.

## 9 DURCHFÜHRUNG DES SZENARIENBASIERTEN TECHNOLOGIE-FRÜHERKENNUNGS- U. TECHNOLOGIE-BEWERTUNGSPROZESS

Im nachfolgenden praktischen Teil der Masterarbeit wird der im Theorieteil entwickelte Prozess erprobt. Das Vorgehensmodell, das in vier Phasen (Experteninterviews → Umfrage → Workshop → Konzeption) gegliedert ist, soll schlussendlich einen Mehrwert für ein Unternehmen aus der Energiewirtschaft schaffen. Daneben partizipieren am praktischen Teil Wissensträger aus verschiedenen Bereichen der Energiewirtschaft und Energietechnik, angefangen vom Studenten und Studentinnen der Elektrotechnik über die Universitätsprofessor:in bis zum Management von Energieversorgern und Fachpersonal aus dem elektrischen Anlagenbau.

### 9.1 Phase 1: Experteninterviews

Die Interviews sollen entsprechend Kapitel 8.3.1 als semistrukturierte Interviews durchgeführt werden. Es wurden den Interviewteilnehmern vorab Fragen zugesendet. Diese Interviews bestand einerseits aus einer quantitativen Erhebung (geschlossene Fragen), die Kapitel 9.1.1 entnommen werden kann, andererseits aus einer qualitativen Erhebung (fünf offene Fragen). Die Teilnehmer wurden gebeten, die Fragen vorab zu beantworten und zu retournieren. Im Anschluss folgte das persönliche Interview. Dafür wurde ein Interviewleitfaden erarbeitet, der in Anhang 3 zu finden ist. Der Leitfaden wurde so entwickelt, dass gezielt auf die Fachgebiete der einzelnen Experten und Expertinnen eingegangen werden konnte. Bei der Auswahl der Experten und Expertinnen wurde versucht, eine möglichst inhomogene Gruppe zusammenzustellen. Dadurch sollte die Thematik aus möglichst vielen unterschiedlichen Blickwinkeln betrachtet werden können. Eine Übersicht über die Experten kann Tabelle 12 entnommen werden (wobei Experte 08 [EXP08] und 10 die Fragen ausschließlich schriftlich beantworteten).

#	Unternehmen	Funktion	Alter	Berufserfahrung	Ausbildung
1	Energieversorger/ Netzbetreiber	Geschäftsführer	62	48 Jahre	HTL: Elektrotechnik
2	Forschungseinrichtung	Thematic Coordinator Power System Planning and Operation	46	18 Jahre	TU: Elektrotechnik FH: Innovation and Technology Management
3	Universität	Universitätsassistent	33	10 Jahre	TU: Elektrotechnik
4	Energieversorger/ Netzbetreiber	Leiter des Assetmanagements	47	21 Jahre	TU: Elektrotechnik
5	Forschungseinrichtung	Research-Engineer	29	5 Jahre	TU: Physik Mont.-Univ.: Energietechnik
6	Ministerium	Referentin	27	2 Jahre	WU: Wirtschaft
7	Ministerium	Analyst/Referent	31	7 Jahre	Mont.-Univ.: Oil- & Gas- Engineering WU: Int. BWL/Ökonomie
8	Energieversorger/ Netzbetreiber	Leiter des Assetmanagements	53	22 Jahre	TU: Elektrotechnik
9	Anlagenbauer	Abteilungsleiter	54	35 Jahre	HTL: Elektrotechnik
10	Anlagenbauer	Bereichsleiter	53	26 Jahre	TU: Elektrotechnik
11	Universität	Assistenzprofessor	32	6 Jahre	Ph. D.: Elektrotechnik

Tabelle 12: Übersicht über die befragten Experten, Quelle: Eigene Darstellung

### 9.1.1 Quantitative Umfrage

Mit der quantitativen Erhebung sollten erste konkrete Aussagen der Experten über die Thematik generiert werden. Dabei zeigte sich gemäß der nachfolgenden Tabelle 13, dass die Experten und Expertinnen das Thema Versorgungssicherheit als aktuell relevant einstufen.

<b>Stufen Sie die Versorgungssicherheit elektrischer Energiesysteme als aktuell relevantes und wichtiges Thema ein?</b>			
Trifft zu	Trifft eher zu	Trifft weniger zu	Trifft nicht zu
9	2		

Tabelle 13: Auswertung der Frage 1 der quantitativen Erhebung, Quelle: Eigene Darstellung

Auch setzt sich die Mehrheit der Experten trotz der unterschiedlichen Zugänge zu der Thematik aktiv oder eher aktiv mit der Versorgungssicherheit elektrischer Energiesysteme auseinander.

<b>Setzen Sie sich aktiv mit dem Thema Versorgungssicherheit elektrischer Energiesysteme auseinander?</b>			
Trifft zu	Trifft eher zu	Trifft weniger zu	Trifft nicht zu
5	4	2	

Tabelle 14: Auswertung der Frage 2 der quantitativen Erhebung, Quelle: Eigene Darstellung

Die Einschätzung der Experten und Expertinnen hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung des elektrischen Energiesystems und der Rahmenbedingungen wird in Tabelle 15 gezeigt. So schätzt der Großteil der Experten die Zukunft als unsicher oder eher unsicher ein. Diese Unsicherheiten sind vielfältig und betreffen u. a. politische und regulative Entwicklungen (**EXP01, EXP06**), die Beherrschung der Volatilität erneuerbarer Energieerzeuger (**EXP11**), aber auch die gesellschaftliche Akzeptanz gegenüber elektrischer Infrastruktur (**EXP01, EXP06, EXP08**).

<b>Ist die Zukunft der elektrischen Energieversorgung und der Energiewirtschaft von starken Unsicherheiten geprägt?</b>			
Trifft zu	Trifft eher zu	Trifft weniger zu	Trifft nicht zu
3	5	3	

Tabelle 15: Auswertung der Frage 3 der quantitativen Erhebung, Quelle: Eigene Darstellung

Ein fragliches Ergebnis wird in Tabelle 16 gezeigt, demgemäß die Mehrheit der Experten und Expertinnen die Energieversorger als nur relativ gut auf die Zukunft vorbereitet sehen. Daraus kann ein Verbesserungsbedarf abgeleitet werden, dem auch mit der vorliegenden Arbeit nachgegangen werden soll.

<b>Sind Energieversorgungsunternehmen auf den aktuellen Umbruch des elektrischen Energiesystems vorbereitet?</b>			
Trifft zu	Trifft eher zu	Trifft weniger zu	Trifft nicht zu
2	6	3	

Tabelle 16: Auswertung der Frage 4 der quantitativen Erhebung, Quelle: Eigene Darstellung

Von den Experten und Expertinnen sehen 45 % eher keine Verschlechterung der Versorgungssicherheit. In diesem Zusammenhang erwähnten **EXP08** und **EXP11**, dass es in den letzten Jahren statistisch gesehen zu keiner Verschlechterung der Versorgungssicherheit gekommen ist. Andererseits gibt es aktuelle Trends wie die Elektromobilität (**EXP03**), die Dezentralisierung (**EXP11**) oder auch die Dekarbonisierung (**EXP06**), die durchaus Risiken für die Versorgungssicherheit darstellen.

<b>Sehen Sie eine Verschlechterung der Versorgungssicherheit aufgrund aktueller Entwicklungen, insbesondere wegen der Zunahme erneuerbarer Energien am Strommix?</b>			
Trifft zu	Trifft eher zu	Trifft weniger zu	Trifft nicht zu
1	4	5	1

Tabelle 17: Auswertung der Frage 5 der quantitativen Erhebung, Quelle: Eigene Darstellung

Die Mehrheit der Experten ist der Ansicht, dass in Zukunft innovative Technologien einen wesentlichen Beitrag zur Versorgungssicherheit leisten müssen (siehe Tabelle 18).

Bedarf es innovativer Technologien, um die Versorgungssicherheit auch noch in Zukunft gewährleisten zu können?			
Trifft zu	Trifft eher zu	Trifft weniger zu	Trifft nicht zu
6	4	1	

Tabelle 18: Auswertung der Frage 6 der quantitativen Erhebung, Quelle: Eigene Darstellung

### 9.1.2 Qualitative Umfrage

Auf Basis des Interviewleitfadens wurde die qualitative Erhebung durchgeführt. Das Ziel der Erhebung ist die Ermittlung von Trends, die Einfluss auf die Elektrizitätswirtschaft und die Energietechnik haben. Weiters sollen Technologien, die die Versorgungssicherheit verbessern, identifiziert werden. Diese Technologien werden unter den Elementen der Versorgungssicherheit zusammengefasst. Die beiden Suchfelder (Trends, Elemente der Versorgungssicherheit) sind in Abbildung 40 dargestellt. Die Interviews wurden mithilfe der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring ausgewertet. Die Gliederung der Trends erfolgte dabei analog den aus dem Theorieteil ermittelten Trends (siehe Kapitel 7). Die Klassifizierung der Technologien wurde gemäß den Elementen der Versorgungssicherheit vorgenommen (siehe Kapitel 3.4).

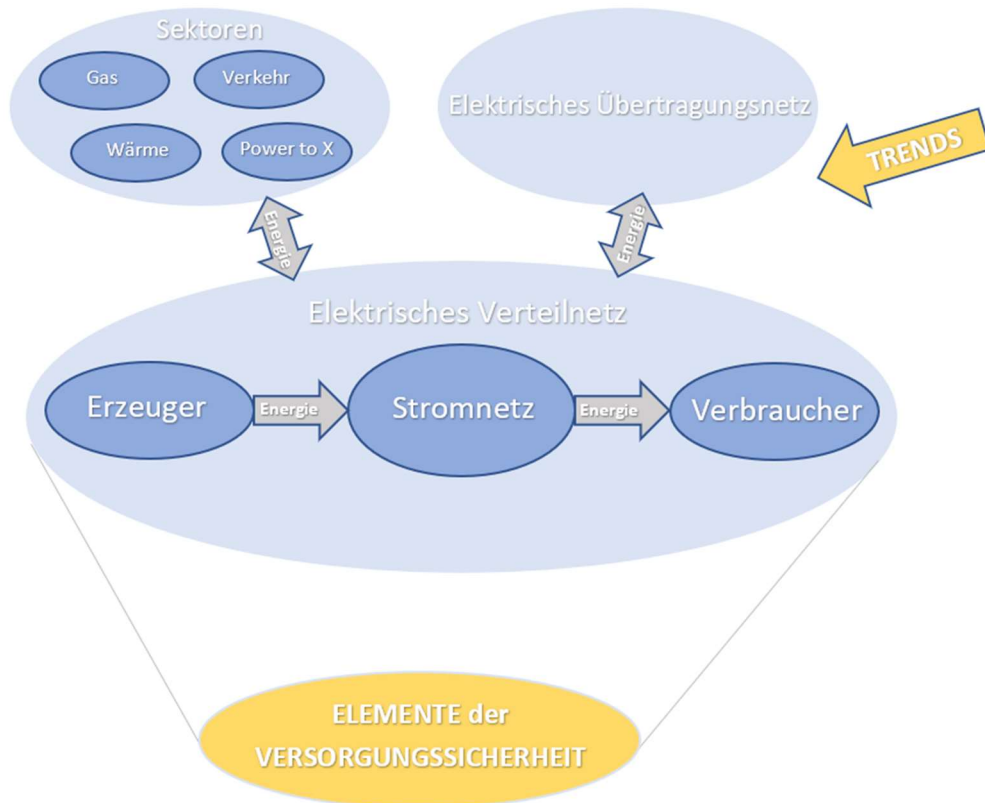


Abbildung 40: Suchfelder (gelb) für die qualitative Erhebung; Quelle: Eigene Darstellung

#### 9.1.2.1 Trends

##### Gesellschaftstrends

##### **Steigerung des Primärenergiebedarfs**

Der Konsens der Experten und Expertinnen (EXP05, EXP06) ist, dass der Energiebedarf in Österreich eher gleichbleibend oder sogar rückgängig ist, womit auch der Primärenergiebedarf rückläufig ist. Der globale Trend trifft daher laut den Experten und Expertinnen nicht auf Österreich zu.

### **Steigerung des Strombedarfs**

Die Untersuchungen von **EXP05** haben ergeben, dass Strom als Energieträger in Zukunft an Bedeutung gewinnen wird, vor allem, wenn die Industrie dekarbonisiert werden soll. Dementsprechend wird auch der Strombedarf in der Industrie steigen. Auch **EXP06** und **EXP09** erwarten eine Steigerung des Strombedarfs bei gleichbleibender oder sogar verringerter Energienachfrage, insbesondere, da eine hohe Zahl an Maßnahmen getroffen wird, um mehr elektrische Energie zu verbrauchen.

### **Nutzung regenerativer Energien**

Das Unternehmen von **EXP01** bewegt sich im Jahr 2022 auf eine Eigenproduktion durch erneuerbare Energien zu einem Anteil zwischen 60 % und 70 % zu und verfolgt in diesem Bereich eine Vielzahl an Projekten in den Bereichen Sonne, Wind und Wasser. Vor allem ist die Wasserkraft für die Deckung der Grundlast wesentlich, da Wind und Sonne volatil sind. Aber auch ein Großteil der Bevölkerung möchte bereits selbst erneuerbaren Strom produzieren. Auch das Erneuerbare Ausbaugesetz (EAG) führt zu einem erheblichen Ausbau regenerativer Energien, so **EXP10**. Für einige der Experten (**EXP01**, **EXP03**, **EXP04**) führt die Zunahme an erneuerbaren Energien zur Verdrängung konventioneller Kraftwerke. Problematisch ist dahingehend die Volatilität dieser Erzeuger, was laut **EXP04** dazu führt, dass die Stromnetze weiter ausgebaut werden müssen. Eine Herausforderung ist auch der saisonale Shift zwischen den Erzeugern. So wird im Sommer durch Photovoltaikanlagen mehr Strom produziert und im Winter wird ein höheres Maß an Strom durch Windkraft generiert. **EXP11** erwartet, dass die Planung dieser Volatilität immer beherrschbarer wird.

Da die Netzinfrastruktur nicht für die beträchtliche Zunahme an erneuerbaren Energieträgern ausgelegt ist, bedarf es Transport- und Verteilerkapazitäten im Stromnetz, um die steigenden Stromspitzen ‚in den Griff zu bekommen‘, erläuterte **EXP07**.

Der Umstieg auf erneuerbare Energien bietet jedoch auch Chancen, so kann durch den Ausbau Energiesouveränität erreicht werden, erklärte **EXP06**. Sie erwartet, dass PV-Anlagen vermehrt im kleinen Rahmen (Stichwort Eine-Million-Dächer-Programm) und nicht als Großflächen realisiert werden. Der Ausbau der erneuerbaren Energien schafft jedoch auch laut **EXP11** eine höhere energiewirtschaftliche Unabhängigkeit von Österreich.

Die zunehmende Integration erneuerbarer Energien geht mit der vollständigen Umgestaltung des über 100 Jahre bestehenden elektrischen Versorgungssystems einher, erklärte **EXP08**. Die erneuerbaren Anlagen werden laut **EXP09** in Österreich eher örtlich verteilt und mit geringeren Leistungen errichtet. Das fördert die Dezentralisierung. Daneben wird es vereinzelt auch große Windparks wie im Burgenland geben.

### **Protestkultur**

**EXP01** spricht in Bezug auf die Protestkultur die Jugendbewegung Fridays-For-Future an, die er prinzipiell befürwortet. Kritisch sieht er hingegen, dass der Ausbau relevanter Stromleitungen aufgrund von Einsprüchen verzögert wird. Darin sieht das Unternehmen von **EXP01** die größte Gefahr für einen Blackout sowie die Bewältigung der Energiewende. **EXP06** sieht es kritisch, dass es einen geringen Grad an Akzeptanz in der Bevölkerung für relevante Infrastrukturprojekte wie die Salzburgleitung gibt. Es ist schwierig, das Dilemma zwischen Klima- und Umweltschutz zu lösen, aber auch für den

Klimaschutz ist ein Eingriff in die Umwelt nötig. Die Protestkultur kann den Ausbau von Infrastruktur und erneuerbaren Energien verzögern und sogar gefährden. Die Akzeptanz vor allem bei der regionalen Bevölkerung muss durch neue Initiativen wie das direkte Involvieren, z. B. durch den Kauf von Anteilen, gesteigert werden.

Für **EXP08** ist die Protestkultur ein negativer Trend, den er auch selbst beobachtet. Das Netz und der Netzausbau sind Schlüsselfaktoren für die Energiewende, jedoch gibt es Widerstand in der Bevölkerung in Hinblick auf den Netzausbau. Beispielfhaft nennt er den 380-kV-Ring in Salzburg oder die Steiermark-Leitung, deren Realisierung zwischen zwanzig und 25 Jahren gedauert hat. Jedes Bauprojekt ruft sofort Widerstand in der Bevölkerung hervor. Bei Umspannwerken ist die Erweiterung ein Problem. Diese waren ursprünglich außerhalb der Städte verortet, aber die Bevölkerung ist immer näher an sie herangerückt. Demnach mehren sich die Proteste, laut denen die Umspannwerke hässlich und zu laut sind.

## **Technologietrends**

### **Dezentralisierung**

Die Dezentralisierung und die damit verbundene Vielzahl an neuen Erzeugungs- und Verbrauchseinrichtungen auf allen Spannungsebenen sind für **EXP02** einer der Megatrends und werden sowohl im Haushaltsbereich als auch in der Industrie Fuß fassen. Die Dezentralisierung spricht auch **EXP03** als relevanten Trend an, wobei durch die damit verbundene Zunahme an erneuerbaren Energieträgern aufgrund der geringen Erzeugungskosten fossile Kraftwerke vom Markt gedrängt werden. Da PV und Windkraft die Grundlast nicht decken können, muss dieser Entwicklung durch Puffern der Energie entgegengewirkt werden. **EXP04** sieht die Dezentralisierung und die daraus resultierenden umgekehrten Energieflüsse kritisch, da dies im historisch gewachsenen Netz nicht funktioniert. Dabei werden als Stromerzeuger vor allem Biogas, Biomasse und PV in das Verteilnetz dezentral einspeisen, in Zukunft aber auch eine wachsende Anzahl an Windparks. Neben der Dezentralisierung gibt es in Zukunft weiterhin Erzeugungsschwerpunkte, vor allem durch Windkraft, z. B. im Burgenland. Außerdem kann ein hohes Maß an lokaler Energieerzeugung im Mittelspannungsnetz zu Blindleistungsproblemen führen. Diese Netze haben oft einen hohen Grad an Verkabelung und benötigen eine hohe Blindleistung, um übernatürlich betrieben zu werden.

Für **EXP06** ist die Dezentralisierung ein relevanter Trend, jedoch gibt es auch den Gegentrend hin zu einem starken zentralisierten Netz. Die Entwicklung wird dahin gehen, dass beide Strukturen nebeneinander existieren werden: einerseits viele kleine Erzeugung mittels PV-Anlagen, andererseits werden auch große zentrale Strukturen wie Windparks an das Netz angeschlossen sein. Auch **EXP11** empfindet die Gesteherung von Last- und Erzeugungszentren als relevante Entwicklung, vor allem in Deutschland mit den großen Erzeugerschwerpunkten im Norden und Verbraucherzentren im Süden und deren räumliche Trennung zu zunehmenden Problemen bei der Energieübertragung führen. Diese Entwicklung ist vor allem in Deutschland ausgeprägter als in Österreich, erklärte **EXP06**.

Auch **EXP08** betonte, dass die Dezentralisierung voranschreitet und dabei große Erzeugungseinheiten wie AKW oder Kohlekraftwerke ausscheiden. Einer der Treiber ist der flächendeckende Ausbau erneuerbarer Energien. Damit kommt es zu einer Umgestaltung der Netztopologie. Die fehlenden bzw.

nicht dafür ausgelegten Netzstrukturen stellen für **EXP11** eine der bedeutendsten Gefahren für die Versorgungssicherheit dar.

### **Flexibilisierung**

In Zukunft sollte es für **EXP02** verpflichtend werden, dass Netzbetreiber freie Kapazitäten sichtbar machen müssen. Dafür bedarf es aber vermehrten Monitorings und Netzsimulationen. Leistungselektronik kann dabei genutzt werden, Flexibilitäten im Netz zu schaffen, dafür sind jedoch regulatorische Maßnahmen nötig. Beispielsweise könnten Ladestationen von E-Autos genutzt werden. Der Trend zur Flexibilisierung schafft laut **EXP03**, **EXP04** und **EXP05** in weiterer Folge auch neue Märkte, z. B. für Demand-Side-Management.

Speicher ist eine zentrale Technologie zur Schaffung von Flexibilitäten, aber für **EXP04** ist es im Wesentlichen ein hochgradig vernetztes und länderübergreifendes Stromsystem, das zeitliche Unterschiede in Produktion und Verbrauch ausgleichen kann. Für **EXP05** ist die Schaffung von Flexibilität ein Trend, der auch zur Verbesserung der Versorgungssicherheit beitragen kann. Möglichkeiten zur Schaffung von Flexibilitäten könnten smarte Haushaltsgeräte, Batterien von Elektrofahrzeugen, Wärmepumpen (insbesondere solche mit einem thermischen Speicher) oder Batteriespeicher sein. Mit diesen Technologien kann der Strombezug zeitlich entkoppelt werden. Daneben können mittels Eigenerzeugungsanlagen Lastspitzen abgefedert, indem Prozesse in der Industrie zeitlich verschoben werden. Letzteres ist in Deutschland mit der Verordnung zu abschaltbaren Lasten bereits novelliert. Für diese Flexibilitätsoptionen fehlt es teilweise noch an Digitalisierungsmaßnahmen und geeigneten Finanzierungsmodellen, z. B. Erleichterungen für Netzgebühren. Die Schaffung von Flexibilitäten ist für **EXP06** einer der zentralen Aspekte, die zur Versorgungssicherheit beitragen können, insbesondere die Schaffung von Flexibilitäten durch das Netz, um Bereiche der Über- und Unterproduktion zu verknüpfen und ausgleichende Energieflüsse zu ermöglichen.

Viele der genannten Flexibilisierungsmaßnahmen wirken in Form einer Leistungs-Frequenz-Regelung. Die Frequenz-Leistungs-Regelung sowie das Engpassmanagement (Redispatch) liegen im Zuständigkeitsbereich der APG, merkte **EXP07** an.

### **Sektorkopplung**

Die Sektorkopplung ist für das Unternehmen von **EXP01** vor allem im Bereich der Wärmepumpen in hohem Maß verankert. Andere Bereiche wie Power-to-Gas sind noch nicht realisiert. Die Sektorkopplung in Bezug auf Vehicle-to-Grid, dass also Elektrofahrzeuge auch zurück ins Netz speisen können, wird in Zukunft relevant werden, wobei **EXP03** dieses Thema schon seit vielen Jahren ohne spürbare Entwicklungen beobachtet. Dafür fehlt es vor allem an entsprechenden Batterien, bei denen es aktuell zu einem Kapazitätsverlust über ihre Laufzeit hinweg kommt, und an dafür benötigten Abgeltungsmodellen. **EXP04** kennt bereits einige Pilotprojekte, die im kleineren Bereich entstehen, wie die Kopplung von Strom und Wärme von Firmen oder Campus.

**EXP05** erwartet, dass sich der Bereich Gase in der Industrie erheblich entwickeln wird, im Haushaltsbereich werden hochkalorische Gase nicht benötigt. Dabei wird es unterschiedliche Gase wie Wasserstoff und synthetische Gase, aber auch flüssige Brennstoffe geben. Wasserstoff ist in der

Entwicklung schon weiter fortgeschritten, aber synthetische Gase haben Vorteile wie bessere Speicherbarkeit und eine höhere Energiedichte. Außerdem enthalten synthetische Gase Kohlenstoffverbindungen, die für eine Vielzahl industrieller Prozesse notwendig sind.

### **Elektrifizierung des Verkehrs**

Das Unternehmen von **EXP01** hat bereits vor 15 Jahren die ersten Erfahrungen mit Elektrofahrzeugen im eigenen Unternehmen gemacht. Als bedeutendes Projekt sieht **EXP01** die Elektrifizierung der Eisenbahn in seinem Bezirk. Für **EXP03** ist die Elektromobilität einer der zentralen Trends, wobei er diesen Trend positiv sieht und ihn nicht als unmittelbare Gefahr für die Versorgungssicherheit wahrnimmt. Es bedarf jedoch eines geeigneten Lademanagements und die entsprechende Netzanschlussleistung muss vorhanden sein. Außerdem sollte die Last dreiphasig aufgeteilt werden, um keine Unsymmetrien zu erzeugen. **EXP05** erwartet, dass sich die Elektromobilität in Unternehmungen schneller als im Privatbereich durchsetzt, da E-Mobilität dort z. B. durch fehlende Ladeinfrastruktur (Wohnungen) größere Umbrüche bedingt. **EXP11** sieht das relevanteste Problem darin, dass das Laden entsprechend gestaffelt werden muss und Fahrzeuge nicht gleichzeitig (z. B. am Ende eines Arbeitstages) geladen werden können.

### **Digitalisierung**

**EXP02** sieht einen Bedarf in der Digitalisierung der Netze in Form von Monitoring, Automatisierung und Offlinesimulationen. Bis auf bestimmte Ausnahmen wurde diese Entwicklung von den österreichischen Verteilnetzbetreibern ‚verschlafen‘. „Jetzt brennt der Hut und jetzt ist der dringende Bedarf notwendig.“ **EXP03** erwartet, dass zunehmend auch die Niederspannung digitalisiert und in SCADA-Systemen abgebildet wird. Dazu können intelligente Ortsnetzstationen genutzt werden. Für **EXP05** werden Smart-Grids, die sich durch ein intelligentes Management von Energiesystemen auszeichnen, in Zukunft relevant. Dadurch kann in Zukunft besser geplant werden. Der Trend wird sich laut **EXP05** jedoch durch alle Ebenen ziehen, vom Haushalt mit Smart Devices bis zu den Gewerbe- und Industriekunden.

Laut **EXP06** sind die Digitalisierung und vor allem die Automatisierung im Übertragungsnetz schon weitgehend erfolgt, die regionalen Netze sind dahingehend noch weniger ‚smart‘. In diesem Zusammenhang ist die Datensicherheit, aber auch Cyberangriffe kritisch zu betrachten. Für **EXP10** werden die technischen und kaufmännischen Prozesse immer komplexer und sind ohne IT nicht mehr beherrschbar. Damit steigt auch das Risiko für Hackerangriffe.

Einer der Treiber für die Digitalisierung ist der Smart-Meter-Rollout in Österreich und ganz Europa, so **EXP08**. Dieser bietet die Möglichkeit, dass Verbraucher Einsicht in das eigene Energieverhalten erhalten, den Energieversorgern und Netzbetreibern bieten die Digitalisierung und insbesondere Smart Meter zeitnahe eine größere Menge an Daten über das Verbrauchsverhalten der Kunden.

### **Leistungselektronik**

Ein Vielzahl Komponenten ist laut **EXP02** mittels Leistungselektronik mit dem Netz verbunden. Diese Technologie wurde ursprünglich als Problem für die Spannungsqualität und das Netz allgemein wahrgenommen. Mittlerweile hat sich das Bild geändert und die Technologie bietet zahlreiche Möglichkeiten, wie die Netzstützung. Es ist jedoch ein Augenmerk auf den Einfluss im hohen Frequenzbereich zu legen und zu untersuchen, wie sich die Leistungselektronik auf diesen Bereich



auswirkt (da dieser aktuell noch nicht gemessen wird). **EXP03** sieht die Zunahme an Leistungselektronik als Verschlechterung für die Spannungsqualität, da diese Oberwellen erzeugt. Außerdem haben Umrichter keine tatsächliche Schwungmasse, die jedoch dienlich für die Netzfrequenz ist.

Hinsichtlich der Zunahme an Leistungselektronik bestand in der Vergangenheit die Angst, dass zu viel rotierende Masse verloren geht. Gegenwärtig ist dieses Problem nicht mehr so bedeutend, da die Zwischenkreise der Leistungselektronik Beiträge (virtuelle Schwungmasse) leisten können, so **EXP04**. Kritischer sieht er Blindleistungs- und Stabilitätsprobleme und Spannungseinbrüche, aber auch NetZRückwirkungen und Oberschwingungen in Verteilnetzen mit geringen Kurzschlussleistungen. **EXP11** sieht den Mangel an rotierenden Schwungmassen und den damit verbundenen Verlust von Stabilität hingegen als aktuelles Problem. Das bedeutet, dass der Ausfall von Erzeugungseinheiten heute größere Auswirkungen als früher hat.

### **DC-Technologien**

Laut **EXP02** werden sich DC-Technologien vorwiegend im industriellen Bereich (Fabriken, Anlagen) durchsetzen, da zahlreiche Verbraucher wie Roboter ausschließlich Gleichstrom nutzen. Beispielfhaft nennt er einen deutschen Automobilhersteller, der mittelfristig alle weltweiten Produktionsbetriebe auf DC-Versorgung umstellen möchte. High-Voltage-Direct-Current (HV/DC) ist laut **EXP02** längst State of the Art und könnte in Zukunft auch in die unteren Spannungsebenen diffundieren. Im öffentlichen Versorgungsnetz wird sich diese Technologie aber auf Sonderlösungen wie vereinzelt AC/DC-Hubs oder DC/DC-Kupplungen zur Versorgung langer Netzausläufer, die aktuell mit 950 V betrieben werden, beschränken und das erst in zehn oder mehr Jahren. **EXP03** betonte, dass mit der Zunahme an Elektrofahrzeugen auch der Bedarf an DC-Strom steigt und sich mit dem bereits bestehenden Bedarf kleine DC-Strukturen und Hubs ausbilden könnten. Aber auch jetzt wird laut **EXP03** bereits der Großteil der Haushaltsgeräte mit Gleichstrom betrieben. Auch für **EXP04** ist die Entwicklung der DC-Technologien im Netz ein relevanter Trend, der auch von den unteren Spannungsebenen getrieben wird. **EXP09** erwartet keine flächendeckende Umstellung auf Gleichstrom in Verteilnetzen, da dies eine vollständige Umstellung der Städtetze bedeuten würde.

**EXP11** bewertet die Gleichspannungsübertragung als relevantes Zukunftsthema, einerseits für die HGÜ-Übertragung für spezielle Anwendungen wie den Nord-Süd-Korridor in Deutschland. Hier sind dann z. B. auch hybride Konzepte angedacht, wo ein AC-System einer bestehenden Trasse gegen ein DC-System ausgetauscht wird. Die DC-Übertragung könnte jedoch in Zukunft auch vermehrt in der Mittelspannungstechnik Anwendung finden, da die Umrichter kostengünstiger werden. So könnten bestehende Kabelsysteme auf DC umgerüstet werden, um die Leitungskapazitäten zu erhöhen. Auch im Niederspannungsbereich, z. B. für Gewerbeparks, Einkaufszentren und große Wohneinheiten, sieht **EXP11** hohes Potential, da viele der Konsumgeräte mit Gleichspannung betrieben werden. Da auch im Privaten immer mehr PV-Anlagen verbaut werden, könnten auch in Häusern kleine DC-Netze aufgebaut werden, um den Konversionsschritt auslassen zu können.

## Wirtschaftstrends

### Demokratisierung

Für **EXP02** ist die Demokratisierung der Energiewirtschaft einer der Megatrends der Energiewirtschaft in Form von neu aufkommenden Geschäftsmodellen und Kundentypen.

#### → Neue Geschäftsmodelle

Neue Geschäftsmodelle wie Bürgerbeteiligungen, Energiegemeinschaften oder virtuelle Kraftwerke sind laut **EXP01** auch für einen traditionellen Energieversorger und Netzbetreiber von hoher Bedeutung. Sie selbst partizipieren mit ihren Kraftwerken am Regelenergiemarkt und in Form von virtuellen Kraftwerken. Außerdem gibt es die ersten Pilotprojekte mit Energiegemeinschaften. Firmen, die neue Geschäftsmodelle entwickeln, kommen jedoch nicht um den Netzbetreiber herum, der sämtliche Programme und das Know-how liefert. Auch **EXP02** stellt sich die Frage, wie die Netzpolitik für neu aufkommende Geschäftsmodelle wie das B2B-Trading gelingen kann. Er fordert mehr Automatisierung und Monitoring. **EXP09** erklärte, dass die Digitalisierung ein wesentlicher Treiber für neue Geschäftsprozesse ist. So wird in Zukunft der Strom digital bezogen. Das geht so weit, dass der Stromverbrauch zwischen einzelnen Erzeugern und Verbrauchern mittels Blockchain-Technologie direkt abgerechnet werden kann. Damit wird sich in Zukunft auch der Buchhaltungs- und Büroaufwand reduzieren.

Für **EXP03** wird in der Energiewirtschaft nahezu alles gehandelt und dazu zählt für ihn auch die Erbringung netzdienlichen Verhaltens, was für neue Marktteilnehmer attraktiv ist. Für **EXP04** werden sich auch neue Märkte für Flexibilitäten wie das Demand-Side-Management auf tun. Mögliche neue Beteiligungsmodelle wie der direkte Ankauf von Windkraftanlagen können laut **EXP06** in Zukunft auch noch an Relevanz gewinnen.

#### → Neue Kundentypen und Konsummuster

**EXP01** sprach davon, dass die Bevölkerung selbst Energie erzeugen, aber auch vermarkten möchte. Oft können Kunden selbst jedoch keine PV-Anlagen auf ihrem Dach installieren und beteiligen sich an Gemeinschaftsprojekten. Laut **EXP02** ist die eigene Vermarktung von Strom als Prosumer aktuell schwierig und kompliziert. Er sieht hinter dem Narrativ, selbst Energie zu erzeugen, zwei Kundentypen, einerseits die Weltretter und andererseits die Wirtschaftlichen.

Für **EXP02** sieht die Entwicklung der Kunden in Bezug auf B2B-Trading in drei Phasen: Es gibt die Lernphase (aktuell), die Verbesserungsphase und die massentaugliche Rollout-Phase. Die aktuellen early Adopters müssen jetzt lernen und auch scheitern, außerdem müssen die rechtlichen Rahmenbedingungen geschaffen und die Technologien angepasst werden. In fünf bis zehn Jahren ist eventuell die Massentauglichkeit vorhanden. Dafür bedarf es aber Plug-and-play-Technologien.

Für **EXP06** sind die Prosumer auch relevante Treiber für andere Trends wie die Digitalisierung und die Dezentralisierung.

**EXP09** erwartet, dass sich das Verbrauchsverhalten in der Form ändert, dass Energieversorger neue Angebote machen, um ausgleichende Stromverbräuche sinnvoll anwenden zu können, nicht nur beim normalen Haushaltskunden, sondern auch in der Industrie. Industrieprozesse können angepasst

werden. Diese Anpassung wird nicht nur tagesabhängig sein (Tag- und Nachtstrom), sondern auch regionsabhängig und fluktuativ (Spotmarkt). Vorwiegend jedoch für größere Verbraucher. Diese werden kostengünstig Energie und Speicher erwerben und bei hohen Strompreisen verbrauchen. So können in weiterer Folge auch die Differenzen zwischen Spitzenlast und Spitzenerzeugung geglättet werden, wodurch Flexibilitäten geschaffen werden.

### **Steigende Strompreise**

Der dritte Trend, der von **EXP01** benannt wurde, betrifft die Strompreissituation an der Börse. Das führt dazu, dass Energieerzeuger, die nur kurzfristig Energie einkaufen, aktuell erhebliche finanzielle Probleme haben. Das eigene Unternehmen kauft auf lange Frist Energie zu. **EXP 03** erwartet, dass ein Teil der steigenden Energiekosten durch die nicht so stark steigenden Netzgebühren abgedeckt wird. **EXP04** hat aufgrund der Zunahme des internationalen Stromhandels eine deutliche Zunahme der Redispatchkosten wahrgenommen. Diese Kosten trägt wiederum der Kunde. Um dem entgegenzuwirken, bedarf es leistungsfähiger Netze, die in einer Volkswirtschaft von hoher Bedeutung sind. Die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern, insbesondere Gas, wurde lange Zeit ignoriert, da dies sehr günstig ist, so **EXP05**. Aktuell kommt es aufgrund von politischen Spannungen und reduzierten Gaslieferungen zu beträchtlichen Preissteigerungen für Energie. Daraus resultiert, dass die steigenden Strompreise wiederum ein Treiber für den Ausbau erneuerbarer Energien sind, da durch diese günstigerer Strom produziert werden kann. **EXP06** ist der Ansicht, dass die Ursache der steigenden Strompreise nicht nur an einer Entwicklung festgemacht werden kann. Mögliche Ursachen sind die Gaskrise, die Inflation und die Zunahme an Redispatchmaßnahmen. Strom aus erneuerbaren Energien ist jedoch günstiger als konventionell erzeugter Strom.

**EXP08** erwartet mit dem Ausbau erneuerbarer Energien und der Regularien, dass auch die Asset-Base der Netzbetreiber steigt. Dies führt zu höheren Netzgebühren und damit auch zu steigenden Strompreisen. Auch **EXP09** erwartet steigende Strompreise aufgrund steigender Netzgebühren. Der Grund ist der nötige Netzausbau, wenn in Zukunft die Energie „nicht nur von oben nach unten, sondern auch von unten nach oben fließt“. Eventuell kommt es in einigen Jahren zu einem umgekehrten Effekt (Zunahme erneuerbarer Energien) und der Preis sinkt. Weiters erwartet **EXP09**, dass die Preise für zu speichernde Kilowattstunden sinken werden.

### **Fachkräftemangel**

Viele der aktuellen Entwicklungen wie der Ausbau der erneuerbaren Energien schaffen neue Investitionen und Arbeitsplätze. Die damit verbundenen Kompetenzen müssen geschaffen werden, damit sich die Wirtschaft in diesem Bereich entwickeln kann, so **EXP06**. Auch **EXP11** beschrieb, dass es in allen größeren Industriebetrieben im Bereich der Elektrotechnik zu einem Mangel an Mitarbeitern kommt. Er selbst beobachtet diese Entwicklung an den Studentenzahlen auf dem Gebiet der Elektrotechnik, die mittlerweile deutlich eingebrochen sind. Dies betrifft laut **EXP11** nicht alle Fachrichtungen, jedoch die Elektrotechnik und insbesondere die Energietechnik in hohem Maß, da diese momentan als nicht attraktiv angesehen werden. **EXP10** sieht auch einen Know-how-Verlust bei den Mitarbeitern. Insbesondere in Hinblick auf die steigende Komplexität hinterfragt er die „Fähigkeit der Mitarbeiter, diese zu beherrschen“.

## Umweltrends

### **Klimawandel**

Den Klimawandel spürt **EXP01** vor allem am geringeren Niederschlag (gerade im Winter in Form von Schnee), der die Produktion der eigenen Wasserkraftwerke verringert. **EXP06** sieht den Klimawandel als einen der wesentlichen Treiber für viele andere Trends wie die Dekarbonisierung.

Der Klimawandel hat laut **EXP08** aktuell keine Auswirkung auf die Versorgungssicherheit, das zeigen auch Qualitätszahlen wie der SAIDI oder der ASIDI, die sinken. Es gibt in kurzen Abständen (zehn bis zwölf Jahre) massive Stürme in Europa und Österreich, die aktuell aber kein Trend sind. Es gibt aber zufällige auftretende und lokal zunehmende Sturm, Schnee oder Gewitter Ereignisse, die mehrfach hintereinander in lokal begrenzten Räumen auftreten und zu Versorgungsunterbrechungen führen. Möglichkeiten, solchen Ereignissen zu begegnen, sind die Verkabelung und die Schaffung von Schaltmöglichkeiten.

## Politiktrends

### **Dekarbonisierung**

Die Dekarbonisierung unter dem Schlagwort der Energiewende ist laut **EXP01** ein wesentlicher Trend. Die Abwendung von Öl und Kohle wird durch die Politik vor allem durch die CO<sub>2</sub>-Bepreisung vorangetrieben. Die Balance zwischen Klima- und Wirtschaftspolitik ist schwierig, da auch die Interessen der Wirtschaft gewahrt werden müssen. Die Kosten für die Dekarbonisierung trägt schlussendlich der Konsument. Auch für **EXP02** ist die Dekarbonisierung einer der wesentlichen Trends. Mit dem EAG-Gesetz werden Netzbetreiber in Zukunft vermehrt in die Pflicht genommen, insbesondere beim Anschluss der benötigten 20 GW an erneuerbaren Energien, so **EXP03**. Laut **EXP05** ist der Druck der Politik einer der wesentlichen Treiber für viele der aktuellen Entwicklungen und Trends. Die vollständige Dekarbonisierung der Energieerzeugung und damit 100 %ige Energieerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern ist ohne Effizienzmaßnahmen nicht möglich. Außerdem werden dennoch Energieimporte benötigt, da es zeitlich aufgelöst immer Unterdeckungen mit Strom aus erneuerbaren Energien geben wird, so die Untersuchung von **EXP05**. Zudem benötigt die Zielsetzung von 100 % erneuerbarer Energien laut Ausbauprogramm der APG mindestens 240 km neue Hochspannungstrassen, die Erhöhung der Spannungsebene auf 110 km Länge sowie die Erneuerung von 290 km Stromleitungen. Zudem werden bis 2030 zwanzig neue Umspannwerke benötigt und darüber hinaus müssen bestehende Umspannwerke verstärkt werden, so **EXP07**.

Laut **EXP05** werden auch auf EU-Ebene vermehrt Maßnahmen zur Dekarbonisierung verhandelt, wie die vor kurzem verabschiedete EU-Taxonomie-Verordnung für mehr Nachhaltigkeit in der Wirtschaft.

Der aktuell schnelle Wandel zur Dekarbonisierung, der im Wesentlichen durch die Politik getrieben ist, birgt auch Risiken, erklärte **EXP06**. Die Risiken sind u. a. eine Gefahr für die Versorgungssicherheit bis hin zum Blackout oder Energieengpässe, da 27 TWh erneuerbare Energieträger bis 2030 installiert werden müssen. Jedoch ist ein Wandel erforderlich und ein Nichthandeln bietet größere Risiken. Es ist bei der Strategiefindung und der Planung darauf zu achten, dass die Versorgungssicherheit gewahrt bleibt und die Menschen ausreichend sichere und leistbare Energie haben. Außerdem bietet die Dekarbonisierung Chancen für Investitionen, Innovationen und die Energiesouveränität.

## Regularien und Gesetze

In Hinblick auf Regularien und Gesetzen kritisierte **EXP01**, dass die Vielzahl neuer Gesetze und Regularien, die auf nationaler, aber auch auf europäischer Ebene erlassen werden, zu Unsicherheiten in der Branche führt. Kritisch sieht **EXP01** das Diskriminierungsverbot von Netzkunden in Hinblick auf die Anschlusskapazitäten. Sind die Netzkapazitäten für die gewollte Anschlussleistung nicht ausreichend, muss der Netzkunde die Maßnahmen zur Steigerung der Netzkapazitäten selbst tragen. Der Netzbetreiber muss nachweisen, dass der entsprechende Kunde zuletzt um die Anschlussleistung angesucht hat und nicht gegenüber anderen Kunden benachteiligt wird.

**EXP02** empfindet, dass die Regularien insbesondere in Hinblick auf die Spannungsqualität einerseits strenger werden, aber andererseits auch besser für den Konsumenten, z. B. durch leichtere Netzzugänge. Dadurch ergeben sich neue Herausforderungen für den Netzbetreiber wie ein höheres Maß an Monitoring. Außerdem sind nach **EXP02** die regulatorischen und logistischen Anpassungen träge. Dem steht gegenüber, dass die Innovationszyklen im elektrischen Energiesystem lange dauern.

Auch **EXP05** sieht eine Zunahme an regulatorischen Vorgaben, die jedoch nicht immer verständlich sind. **EXP05** sieht darin auch eine Gefahr für den Industriestandort, wenn aufgrund der Politik und undurchsichtiger Vorgaben nur ein geringes Maß an Planbarkeit möglich ist.

Für **EXP06** nehmen die Regularien nicht nur zu, sondern werden auch umfangreicher. Der Grund dafür ist, dass auch das System komplexer wird und Personen, die sich nicht intensiv damit beschäftigen, es nicht überblicken können. Die Regularien werden laut **EXP06** in Zukunft nicht unternehmerfreundlicher werden. Dahingehend haben Unternehmen Interesse, dass die Versorgungssicherheit gewährleistet wird, aber im Krisenfall muss „eben eingeschritten werden“.

**EXP07** fordert klare Rahmenbedingungen für die Bereitstellung von Netzreserven (Reservekraftwerke), vor allem dahingehend, dass viele Altanlagen im Jahr 2030 vor ihrer Stilllegung stehen und neue Anlagen benötigt werden. Diesbezüglich begrüßt er den Beschluss zur Netzreserve.

Regularien insbesondere in Hinblick auf den Netzzugang von Erzeugungsanlagen sind teilweise unscharf und unklar, erläuterte **EXP08**. Dies führt zu hohem administrativen Aufwand. Es ist weder vorteilhaft für den Netzbetreiber noch für den Erzeuger und führt vor allem bei Letzterem zu Frustration. Zudem gibt es noch Unklarheiten, was Flächenwidmungen betrifft. In der Steiermark gibt es den Windkataster und das Sachprogramm Wind, was positiv ist. Das wäre auch für die Photovoltaik sinnvoll, damit der Netzbetreiber mögliche Anfragen und Kapazitäten besser planen kann. Es gibt auch viele Unklarheiten für Netzbetreiber darüber, wie mit dem Anschluss umgegangen werden muss, da die TOR und das RfG bei großen Erzeugungsanlagen komplex sind.

Ein wesentlicher Treiber ist für **EXP10** die Liberalisierung, die zu einer Entflechtung von Technik/Physik und Geschäftsprozessen geführt hat.

## Energieeffizienz

Die Energieeffizienz, die von Seiten der Politik durch das Energieeffizienzgesetz vorangetrieben wird, ist nach **EXP01** einer der entscheidenden Trends. Darunter fällt jedoch nicht nur Strom, sondern auch andere Energieträger und Verbraucher, z. B. Verkehr oder Gebäudetemperierung. Dass große

Unternehmen verpflichtet sind, laufend ihre Energieeffizienz zu verbessern, sollte laut **EXP05** teilweise auch durch andere Maßnahmen wie die Schaffung von Flexibilitäten kompensiert werden können, vor allem, da Industrieanlagen, die Flexibilitäten bereitstellen, meist in einem schlechteren Wirkungsgrad arbeiten. Jedoch sieht **EXP05** auch hohes Potential von Effizienzmaßnahmen, insbesondere in der Industrie, um den Energieeinsatz nachhaltiger zu gestalten. So hat die Abschaltbare-Lasten-Verordnung in Deutschland bei Industrieunternehmen dazu geführt, dass diese ihre Energieflüsse genauer untersuchen. Dabei wurden in einigen Industrieunternehmen neue Möglichkeiten zur Energieeinsparung identifiziert. Zudem erwartet **EXP05**, dass steigende Strompreise ein wesentlicher Treiber für diesen Trend werden.

**EXP06** erklärte, dass es mehr sozialer Innovationen für Energieeffizienz bedarf, um die allgemeine Energienachfrage zu reduzieren.

**EXP09** hat in den letzten zehn bis 15 Jahren eine Verbesserung des Wirkungsgrades von Verbraucheranlagen beobachtet, da in den letzten Jahren eine Vielzahl an Energieeffizienzmaßnahmen getroffen wurde. Weitere Möglichkeiten sieht er in der Optimierung der Netze durch Blindleistungskompensation oder Anpassung an den optimalen Wirkungsgrad.

### 9.1.2.2 Trendsteckbriefe

Im Anschluss an die Experteninterviews wurden sogenannte Trendsteckbriefe zu den 19 identifizierten Trends erstellt. In diese flossen sowohl die Erkenntnisse aus den Interviews als auch jene aus dem Theorieteil aus Kapitel 7 mit ein. Die Trendsteckbriefe sollen später im Workshop Anwendung finden. Im Wesentlichen beinhalten die Steckbriefe eine prägnante Beschreibung des Trends. Außerdem sollen die Treiber des Trends sowie mögliche Chancen und Risiken aufgelistet werden. Darüber hinaus können bereits mögliche Ausprägungen des Trends beschrieben werden. Ein Trendsteckbrief ist beispielhaft in Abbildung 41 dargestellt. Die restlichen Trendsteckbriefe können Anhang 5 entnommen werden.



Abbildung 41: Trendsteckbrief des Trends Steigerung des Strombedarfs; Quelle: Eigene Darstellung

### 9.1.2.3 Technologien und technische Maßnahmen

In diesem Unterkapitel findet die Auswertung der Experteninterviews zum Thema Technologien statt. Gemäß den sogenannten Elementen der Versorgungssicherheit aus Kapitel 3.4 wurde versucht, die Technologien zu klassifizieren. Dabei zeigte sich in den Interviews, dass es neben den Elementen aus Abbildung 6 noch weitere Elemente gibt. Eine adaptierte Darstellung kann der Abbildung 42 entnommen werden.

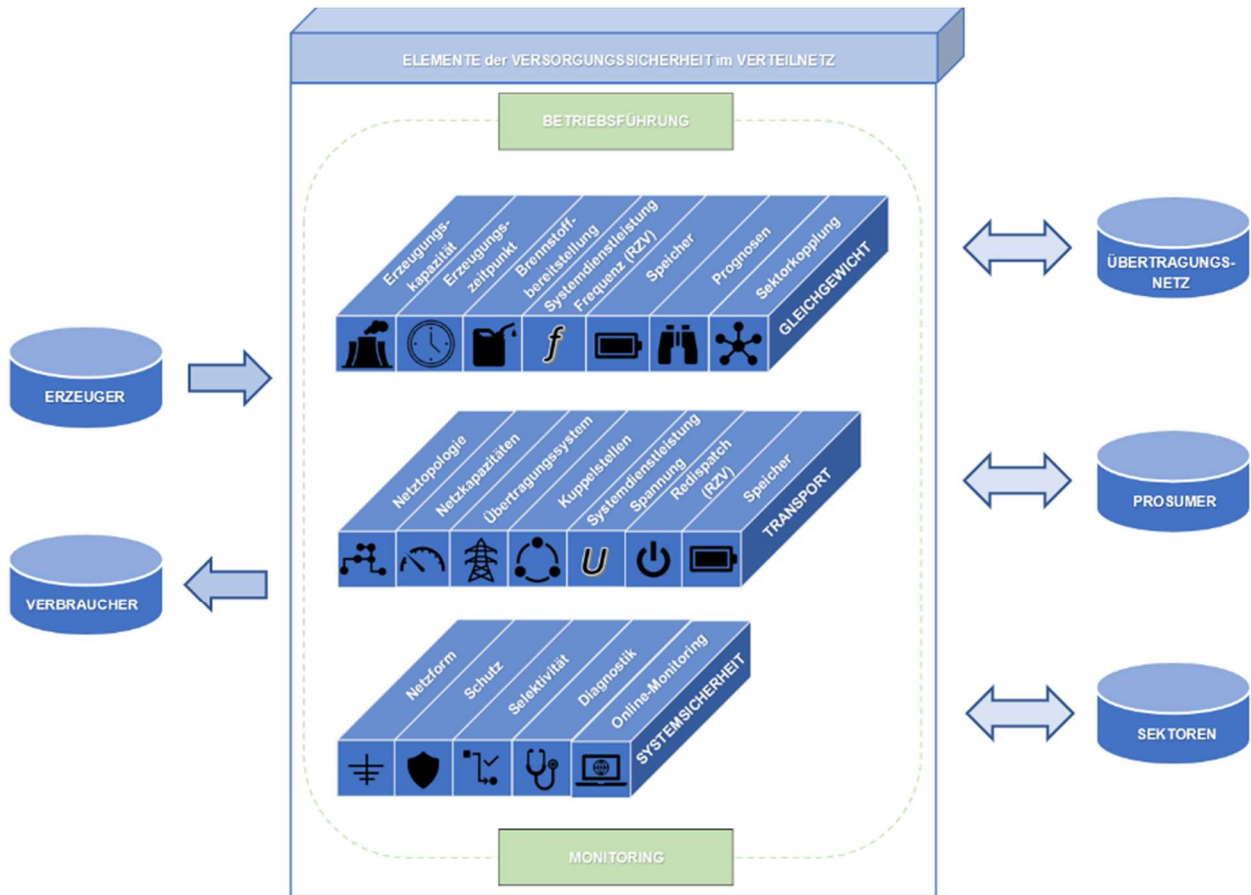


Abbildung 42: Elemente der Versorgungssicherheit, Quelle: In Anlehnung an Horst et al. (2016), S. 24, Adaptierte Darstellung

### 9.1.2.4 Elemente der Versorgungssicherheit

Im Anschluss an jedes Interview wurde eine qualitative Inhaltsanalyse zum Thema Technologien durchgeführt. An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass die Auswertung der einzelnen Interviews kurz nach dem Interview erfolgen sollte. Durch die kontinuierliche Auswertung können die Erkenntnisse, aber auch offene Punkt oder Fragen in die Folgeinterviews transferiert werden. Die Inhaltsanalyse zum Thema Technologien wurde der Übersichtlichkeit wegen Anhang 6 beigefügt. Auf Basis der Interviews (Bottom-up) und durch Einfließen der Erkenntnisse aus dem Theorieteil (Top-down) ist Tabelle 19 entstanden. Darin sind die Technologien aufgelistet, die einen Beitrag zur Versorgungssicherheit leisten. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die vorliegende Arbeit keinen Anspruch auf Vollständigkeit der Technologien erhebt. In roter Farbe sind die Technologien markiert, bei denen der Technologiereifegrad auf Basis der Erkenntnisse aus der Literatur und den Interviews als noch nicht marktreif oder zumindest als nicht bekannt identifiziert wurde. Die Zusammenfassung und

Beschreibung der einzelnen Elemente und Technologien können dem Technologieglossar in Anhang 7 entnommen werden.

TECHNOLOGIEN gemäß den ELEMENTEN der VERSORGUNGSSICHERHEIT						
BETRIEBSFÜHRUNG				MONITORING		
- SCADA-System für das Mittelspannungsnetz - SCADA-System für das Niederspannungsnetz - Digital Twin - Fernwirkbare Anlagen - Intelligente Ortsnetzstationen - DNA (Dezentrales Netzautomatisierungssystem) - Leitsystem mit KI-unterstützten Handlungsempfehlungen - Selbstgesteuerter Eingriff in die Netzführung mittels KI <i>Anmerkung:</i> Von Seiten der Betriebsführung ist auch die Systemdienstleistung für den Versorgungswiederaufbau zu erbringen. Dafür sind das Vorhandensein und die Koordination der unten angeführten Elemente von Nöten.				- Energie-Monitoring - Spannungsqualitäts-Monitoring - Versorgungsqualitäts-Monitoring - Wide-Area-Monitoring - Meter-Data-Management - Energie-Monitoring mittels Smart Meter - Spannungsqualitäts-Monitoring mittels Smart Meter		
GLEICHGEWICHT						
Erzeugungskapazitäten	Erzeugungszeitpunkt	Brennstoffbereitstellung	SDL Frequenz	Speicher	Prognosen	Sektor-kopplung
- Konventionelle Kraftwerke - Regenerative Kraftwerke - Virtuelle Kraftwerke - Schwarzstartfähige Kraftwerke - Inselfähige Umrichter - Hybridparks	<i>Anmerkung:</i> Koordiniert der Bilanzgruppenverantwortliche	<i>Anmerkung:</i> Koordiniert Kraftwerksbetreiber	<i>Anmerkung:</i> Koordiniert der Regelzonenführer  - Virtuelle Schwungmasse	- Pumpspeicherkraftwerke - Konventionelle Batteriespeicher - Ökologische Batteriespeicher - Schwungradspeicher - Gravitations-speicher - Druckluftspeicher - Superkondensatoren - Supraleitende magn. Energiespeicher	- Lastprofile - Wettervorhersagen zur Planung des Kraftwerkeinsatzes - Big Data zur Erstellung von Einspeise- und Lastszenarien	- Vehicle-to-Grid - Power-to-Heat - Power-to-H2 - Power-to-Syngas - Power-to-Fuel
TRANSPORT						
Netz-topologie	Netzkapazitäten	Übertragungssystem	Kuppelstellen	SDL Spannung	Redispatch	Speicher
- Strahlennetz - Ringnetz - Maschen-netz	<i>Anmerkung:</i> Wesentlich ist der Netzausbau. Daneben können Kapazitäten durch folgende Technologien sichtbar bzw. freigemacht werden:  - Echtzeit-Netzsimulationen - Rechenunterstützte Optimierung des Wirkungsgrades von Verteilnetzen - Energiemanagementsysteme zur Optimierung von Erzeugern, Lasten und Speichern - Demand-Side-Management - Lastmanagement mittels Rundsteuerung - Negative Regelernergie	- Kabel - Freileitung - MV/DC-Übertragung - DC/DC-Kopplung - Supraleitende Kabel	- Trafos - Schaltanlagen - Trennschalter - Lasttrennschalter - Leistungsschalter - Sicherungslasttrennschalter - Schütze	<i>Erzeugerseitig:</i> - Blindleistungsregelung - FRT - Blindleistungskompensationsanlagen - Negative Regelernergie - Positive Regelernergie - SEM - DEM - Statische Spannungshaltung - Blindstromstützung mittels Umrichter - Gridforming mittels Umrichter <i>Netz:</i> - Regelbare Trafos - Strangregler - Zick-Zack-Trafos - Solid-State-Trafo - FACTS <i>Verbraucherseitig:</i> - Demand-Side-Management - Lastmanagement mittels Rundsteuerung	<i>Anmerkung:</i> Koordiniert der Regelzonenführer	- Pumpspeicherkraftwerke - Konventionelle Batteriespeicher (Akkumulator) - Ökologische Batteriespeicher - Schwungradspeicher - Regenerative Brennstoffzelle - Gravitations-speicher - Druckluftspeicher - Superkondensatoren - Supraleitende magn. Energiespeicher
SYSTEMSICHERHEIT						
Netzform (Ebene 5)	Netzform (Ebene 7)	Schutz	Selektivität	Diagnostik	Online-Monitoring	
- Gelöschtes Netz - Niederohmige Sternpunktterdung - Starr geerdetes Netz - Isoliertes Netz - Dezentrale Löschung	- TN-System (TN-C) - (TN-S) - (TN-C-S) - TT-System - IT-System	- Überspannungsschutz - UMZ - UMZ-R - AMZ - Distanzschutz - Leitungsdifferenzialschutz - Frequenzschutz - Sicherung - Automatische Wiedereinschaltung - Überlastschutz - Lastabwurf	<i>Anmerkung:</i> Die Selektivität lässt sich durch eine geeignete Staffelung der Schutzorgane in Kombination mit entsprechenden Auslöseeinrichtungen erreichen.	- Chemische Diagnostik von Isolierölen - Isolationsmessung - VLF-Kabelprüfung - Thermische Diagnostik - TE-Messung - Diagnostik von Freileitungen mittels GIS-Daten - FDS-Diagnostik - Diagnostik von Freileitungen mittels Drohnen	- Online-Monitoring von Trafos - Online Monitoring von Kabelstrecken - Condition-Monitoring von Freileitungen - IOT-Asset-Management von Betriebsmitteln - Expertensysteme	

Tabelle 19: Technologien gemäß den Elementen der Versorgungssicherheit, Quelle: Eigene Darstellung



## 9.2 Phase 2: Umfrage

In der zweiten Phase des Prozesses wurde jeweils eine Umfrage zum Themengebiet Trends und zu den Technologien durchgeführt. Ähnlich wie bei den Experteninterviews wurde auch in Phase 2 hoher Wert auf die fachliche Kompetenz der Teilnehmer gelegt.

### 9.2.1 Trendmatrix

In der ersten Umfrage wurden die Teilnehmer darum gebeten, ihre Einschätzung über die Unsicherheit sowie den Einfluss der einzelnen Trends auf einer Skala von 0 bis 10 zu bestimmen, wobei gemäß der in Abbildung 43 abgebildeten Abszisse 0 niedrige und 10 hohe Unsicherheit hinsichtlich der weiteren Entwicklung bedeutete. Gemäß der Ordinate steht 0 für einen niedrigen und 10 für einen hohen Einfluss auf die Branche. Insgesamt wurden 42 Personen mit einem Background der Energiewirtschaft bzw. Elektrotechnik befragt. Das Ausbildungsniveau und die Berufserfahrung der Umfrageteilnehmer können Abbildung 61 und Abbildung 62 aus Anhang 7 entnommen werden. In der Umfrage wurde die wesentliche Erkenntnis gewonnen, dass alle Trends die Branche beeinflussen und damit eine wesentliche Bedeutung für die weitere Arbeit haben. Außerdem wurde die weitere Entwicklung mit Ausnahme des Trends steigende Strompreise als sicher bewertet. Dieser ‚Ausreißer‘ kann auf den rapiden Anstieg der Energiepreise zum Zeitpunkt der Umfrage (März 2022) zurückgeführt werden.

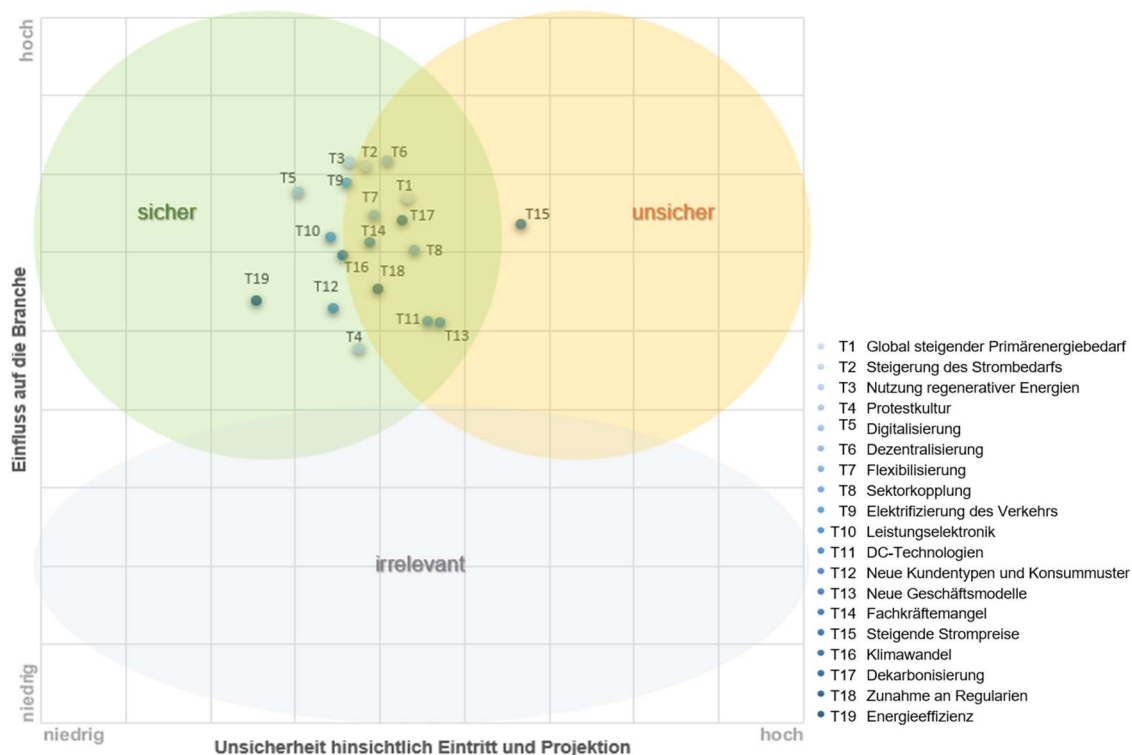


Abbildung 43: Ergebnisse der Umfrage zur Trendbewertung (Wilson-Matrix), Quelle: Eigene Darstellung

### 9.2.2 Technologiereifegrad

In der zweiten Umfrage wurde um die Einschätzung des Technologiereifegrades der 32 rot markierten Technologien aus Tabelle 19 gebeten. Dabei konnte die Einschätzung auf einer Skala von 1 bis 9 abgegeben werden, wobei die Bewertung 1 Grundlagenforschung und 9 einer marktreifen Technologie entsprach (siehe Technologiereifegrad in Abbildung 12, Kapitel 4.3.3). In Tabelle 20 sind die Ergebnisse

aus der Umfrage aufgelistet, wobei der TRL für den Leser anhand der Farbe sowie der hochgestellten Nummern identifiziert werden kann.

TECHNOLOGIEN gemäß den ELEMENTEN der VERSORGUNGSSICHERHEIT						
BETRIEBSFÜHRUNG				MONITORING		
SCADA-System für das Mittelspannungsnetz SCACA-System für das Niederspannungsnetz - Digital Twin <sup>7</sup> Fernwirkbare Anlagen Intelligente Ortsnetzstationen - DNA (Dezentrales Netzautomatisierungssystem) <sup>8</sup> - Leitsystem mit KI-unterstützten Handlungsempfehlungen <sup>5</sup> - Selbstgesteuerter Eingriff in die Netzführung mittels KI <sup>4</sup> <i>Anmerkung:</i> Von Seiten der Betriebsführung ist auch die Systemdienstleistung für den Versorgungswiederaufbau zu erbringen. Dafür sind das Vorhandensein und die Koordination der unten angeführten Elemente von Nöten.				- Energie-Monitoring - Spannungsqualitäts-Monitoring - Versorgungsqualitäts-Monitoring - Wide-Area-Monitoring - Meter-Data-Management - Energie-Monitoring mittels Smart Meter <sup>8</sup> - Spannungsqualitäts-Monitoring mittels Smart Meter <sup>7</sup>		
GLEICHGEWICHT						
Erzeugungskapazitäten	Erzeugungszeitpunkt	Brennstoffbereitstellung	SDL-Frequenz	Speicher	Prognosen	Sektor-kopplung
Konventionelle Kraftwerke Regenerative Kraftwerke Virtuelle Kraftwerke Schwarzstartfähige Kraftwerke Inselfähige Umrichter Hybridparks	<i>Anmerkung:</i> Koordiniert der Bilanzgruppenverantwortliche	<i>Anmerkung:</i> Koordiniert Kraftwerksbetreiber	<i>Anmerkung:</i> Koordiniert der Regelzonenführer  - Virtuelle Schwungmasse <sup>6</sup>	- Pumpspeicherkraftwerke - Konventionelle Batteriespeicher - Ökologische Batteriespeicher <sup>5</sup> - Schwungradspeicher - Regenerative Brennstoffzelle <sup>6</sup> - Gravitationspeicher <sup>6</sup> - Druckluftspeicher - Superkondensatoren <sup>6</sup> - Supraleitende magn. Energiespeicher <sup>6</sup>	- Lastprofile - Wettervorhersagen zur Planung des Kraftwerkeinsatzes - Big Data zur Erstellung von Einspeise- und Lastszenarien <sup>7</sup>	- Vehicle-to-Grid <sup>6</sup> - Power-to-Heat - Power-to-H2 <sup>9</sup> - Power-to-Syngas <sup>5</sup> - Power-to-Fuel <sup>8</sup>
TRANSPORT						
Netztopologie	Netzkapazitäten	Übertragungssystem	Kuppelstellen	SDL Spannung	Redispatch	Speicher
Strahlennetz Ringnetz Maschen-netz	<i>Anmerkung:</i> Wesentlich ist der Netzausbau. Daneben können Kapazitäten durch folgende Technologien sichtbar bzw. freigemacht werden:  - Echtzeit-Netzsimulationen <sup>8</sup> - Rechenunterstützte Optimierung des Wirkungsgrades von Verteilnetzen <sup>7</sup> - Energiemanagementsysteme zur Optimierung von Erzeugern, Lasten und Speichern <sup>7</sup> - Demand-Side-Management - Lastmanagement mittels Rundsteuerung - Negative Regelernergie	- Kabel - Freileitung - MV/DC-Übertragung <sup>7</sup> - DC/DC-Kopplung <sup>6</sup> - Supraleitende Kabel <sup>6</sup>	- Trafos - Schaltanlagen - Trennschalter - Lasttrennschalter - Leistungsschalter - Sicherungslasttrennschalter - Schütze	<i>Erzeugerseitig:</i> - Blindleistungsregelung - FRT - Blindleistungskompensationsanlagen - Negative Regelernergie - Positive Regelernergie - SEM <sup>8</sup> - DEM <sup>8</sup> - Statische Spannungshaltung - Blindstromstützung mittels Umrichter - Gridforming mittels Umrichter <sup>7</sup> <i>Netz:</i> - Regelbare Trafos - Strangregler - Zick-Zack-Trafos - Solid-State-Trafo <sup>5</sup> - FACTS <sup>8</sup> <i>Verbraucherseitig:</i> - Demand-Side-Management <sup>8</sup> - Lastmanagement mittels Rundsteuersignalen <sup>6</sup>	<i>Anmerkung:</i> Koordiniert der Regelzonenführer	- Pumpspeicherkraftwerke - Konventionelle Batteriespeicher (Akkumulator) - Ökologische Batteriespeicher <sup>6</sup> - Schwungradspeicher - Regenerative Brennstoffzelle <sup>6</sup> - Gravitationspeicher <sup>6</sup> - Druckluftspeicher - Superkondensatoren <sup>6</sup> - Supraleitende magn. Energiespeicher <sup>6</sup>
SYSTEMSICHERHEIT						
Netzform (Ebene 5)	Netzform (Ebene 7)	Schutz	Selektivität	Diagnostik	Online-Monitoring	
Gelöschtes Netz Niederohmige Sternpunktterdung Starr geerdetes Netz Isoliertes Netz Dezentrale Löschung	- TN-System (TN-C) - (TN-S) - (TN-C-S) - TT-System - IT-System	- Überspannungsschutz - UMZ - UMZ-R - AMZ - Distanzschutz - Leitungsdifferenzialschutz - Frequenzschutz - Sicherung - Automatische Wiedereinschaltung - Überlastschutz - Lastabwurf	<i>Anmerkung:</i> Die Selektivität lässt sich durch eine geeignete Stafflung der Schutzorgane in Kombination mit entsprechenden Auslöseeinrichtungen erreichen.	- Chemische Diagnostik von Isolierölen - Isolationsmessung - VLF-Kabelprüfung - Thermische Diagnostik - TE-Messung - Diagnostik von Freileitungen mittels GIS-Daten <sup>6</sup> - Diagnostik von Freileitungen mittels Drohnen <sup>6</sup> - FDS-Diagnostik <sup>6</sup>	- Online-Monitoring von Trafos - Online-Monitoring von Kabelstrecken <sup>7</sup> - Condition-Monitoring von Freileitungen - IOT-Asset-Management von Betriebsmitteln <sup>6</sup> - Expertensysteme <sup>4</sup>	

Tabelle 20: Technologiereifegrad der Elemente der Versorgungssicherheit, Quelle: Eigene Darstellung

Die Bewertung erfolgte dabei durch zwanzig sorgfältig ausgewählte Elektrotechniker, deren Ausbildungsniveau und Berufserfahrung Abbildung 63 sowie Abbildung 64 entnommen werden können. Es zeigte sich dabei, dass ca. ein Drittel der identifizierten Technologien noch nicht die vollständige Marktreife erlangt hat. Der Technologiereifegrad bildet dabei eine bedeutende Grundlage für die weitere Technologiebewertung. Da Energieversorgungsunternehmen üblicherweise keine eigene Entwicklung haben, sondern lediglich neue Technologien in Form von Piloten testen, werden die Technologien erst ab Stufe 5 mit dem Versuchsaufbau in der Einsatzumgebung relevant.

## **9.3 Phase 3: Workshop**

### **9.3.1 Vorstellung des Kooperationspartners**

Beim Kooperationspartner handelt es sich um in der Steiermark niedergelassene Stadtwerke, die bereits seit über 100 Jahren existieren. Die Leistungen, die erbracht werden, sind die Energiedienstleistung in Form von Stromerzeugung und Handel sowie der Netzbetrieb. Daneben gibt es noch drei weitere Geschäftsfelder, nämlich die Wasserversorgung, eine eigene Haustechnikabteilung in Form von Elektro- und Wasserinstallationen sowie den Betrieb der lokalen Bestattung. Die Mitarbeiterzahl beläuft sich auf 80 Angestellte. Der Betrieb erwirtschaftet im Jahr ca. 12 Millionen €.

Das Mittelspannungsnetz der Stadtwerke hat eine Ausdehnung von 149 km (70 km Freileitung/79 km Kabel) und das Niederspannungsnetz eine Länge von 550 km (145 km Freileitung/405 km Kabel). Es gibt 136 Transformatorstationen, die für eine zuverlässige Versorgung der Netzkunden sorgen, wobei die minimale Last der Kunden 2,1 MW und die maximale Last 13 MW beträgt. Dabei sind nur acht Kunden an die Netzebene 5 mit einer Leistung von 3 MW angeschlossen. Der Großteil, nämlich 8872 Kunden, sind mit einer Gesamtleistung von ca. 65 MW an die Netzebene 7 angeschlossen. Darüber hinaus befinden sich zehn öffentliche Ladepunkte für E-Fahrzeuge mit einer Leistung von 308 kW im Einsatz. Die Versorgung der Kunden kann durch eine maximale Erzeugungskapazität von ca. 15,5 MW teilweise sogar überdeckt werden. In solchen Fällen kann die Energie über eine Anschlussleistung von 9 MW Bezug und 12 MW Erzeugung in das vorgelagerte Netz der Energienetze Steiermark gespeist werden. Die Kombination an Erzeugungseinheiten im Netz setzt sich folgendermaßen zusammen: 7 MW Windkraftanlagen, 4,9 MW PV-Anlagen, 3,6 MW Laufkraftwerke, 0,6 MW Speicherkraftwerke, 0,018 MW Biomasse und 0,03 MW Biogas.

### **9.3.2 Schritt 1: Aufgabenanalyse & Fokussierung**

Im ersten Schritt wurde vor dem Workshop das Gespräch mit dem Kooperationspartner in Form eines Interviews gesucht, um Insights aus dem Unternehmen zu generieren. An dieser Stelle ist auf das Interview mit **EXP01** zu verweisen. Der Workshop erfolgte mit dem Geschäftsführer des Unternehmens. Für den Workshop wurden folgende Ziele definiert:

- Auseinandersetzung mit zukünftigen Entwicklungen,
- Vorbereitung auf zukünftige Krisen,
- bestehende Denkmuster aufbrechen,
- neue Technologien evaluieren und
- mögliche Blackspots im Unternehmen identifizieren.

In weiterer Folge wurde eine SWOT-Analyse durchgeführt, wobei die Teilnehmer bereits vor dem Workshop gebeten wurden, sich über mögliche Stärken, Schwächen sowie Chancen und Risiken Gedanken zu machen. Das Ergebnis der Analyse ist in Tabelle 21 dargestellt.

		Chancen	Risiken
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Smart-Meter-Rollout</li> <li>- Elektrifizierung der Eisenbahn</li> <li>- Ausbau von Wärmepumpen und Sektorkopplung</li> <li>- Zugriff auf Kundenanlagen (Prosumer)</li> <li>- Erhöhung des Verkabelungsgrades</li> <li>- Mögliche Pilotprojekte mit Forschungsreinrichtungen (TU) für Speichertechnologien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Neue Regularien die einfachere und günstigere Netzzugänge ermöglichen</li> <li>- Bezugsleistung = Einspeiseleistung laut ELWOG</li> <li>- Erhöhter Datenschutz (Smart Meter)</li> <li>- Überschreitung der Anschlussleistung zum übergeordneten Netz aufgrund der Zunahme erneuerbarer Energien</li> <li>-Steigende Preise (Energiepreise und Gestehungskosten)</li> <li>- Längere Lieferzeiten</li> <li>- Zu viel Volatilität durch erneuerbare Energien</li> <li>- Bürokratische und langwierige Behördenverfahren (z. B. UVP)</li> </ul>
<b>Stärken</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Genügend Netzreserven vorhanden</li> <li>- Qualifiziertes und geschultes Personal. Fehler im Netz können selbstständig behoben werden.</li> <li>- Eine hohe Zahl erneuerbarer Energieerzeuger im eigenen Stromnetz</li> <li>- Relativ hoher Anteil an Wasserkraft</li> <li>- Vorausschauender Einkauf von Energie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Durch das Zugreifen auf Kundenanlagen (PV, Wind), kann die Spannungsqualität verbessert werden (zumindest durch negative Regelernergie).</li> <li>- Eigenpersonal kann nahezu selbstständig Arbeiten im Netz durchführen und Freileitungstrassen gegen Kabel tauschen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Netzreserven können die Volatilität und die entsprechenden Ausgleichsströme zulassen</li> <li>- Steigende Strompreise durch den frühzeitigen Kauf von Energie abfedern (Long-Position/Terminmarkt)</li> </ul>
	<b>Schwächen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limitierte Anschlussleistung bidirektional (9 MW Bezug/12 MW Erzeugung)</li> <li>- Noch viele Freileitungen</li> <li>- Versorgung von vielen ländlichen Gebieten und Almregionen</li> <li>- Bestand von alten und anfälligen PE-Kabeln im Einsatz</li> <li>- Aufgrund der volatilen Einspeiser ergeben sich zunehmend Spannungsqualitätsprobleme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tausch von Freileitungen und alten PE-Kabeln gegen neue VPE-Kabel</li> <li>- Einsatz regelbarer Trafos, um Spannungsqualitätsprobleme zu minimieren</li> <li>- Anbindung an das Bahnnetz, um die hohe Volatilität der erneuerbaren Energieerzeuger auszugleichen</li> <li>- Speicherung von grünem Strom mithilfe regenerativer Brennstoffzellen</li> </ul>

Tabelle 21: SWOT-Analyse, Quelle: Eigene Darstellung

Im Anschluss an die SWOT-Analyse wurde das Untersuchungsfeld definiert, das wie folgt lautet:

**Untersuchungszeitraum:** zehn Jahre

**Betrachtete Region:** gesamtes Netzgebiet der Stadtwerke

**Netzebenen:** 5-7

**Zielvorgabe:** drei Szenarien/zehn Technologien

**Betrachtete Versorgungssicherheit:** Versorgungszuverlässigkeit, Spannungsqualität, operative Versorgungssicherheit

### 9.3.3 Schritt 2: Auswahl der Zukunftselemente

Die Zukunftselemente, die in Form von Trends ausgearbeitet wurden, wurden den Workshopteilnehmern bereits vorab übermittelt. Die Auswahl der Elemente erfolgte durch ein Brainstorming, wobei die Wilson-Matrix aus Abbildung 43 sowie die Ergebnisse der SWOT-Analyse die Diskussionsbasis bildeten. Es wurden folgende Elemente ausgewählt:

- Nutzung regenerativer Energien,
- Zunahme des Stromverbrauchs,
- Digitalisierung (Smart Meter/SCADA/GIS),
- Regularien (Datenschutzrichtlinien/Netzzugangsbestimmungen) und
- Sektorkopplung (Power-to-Heat, Power-to-Gas).

Zudem wurden noch die folgenden Zukunftselemente im Rahmen der SWOT-Analyse definiert:

- Anbindung an das übergeordnete Netz und
- Verkabelungsgrad.

Der gemäß Abbildung 43 in hohem Maß unsichere Trend der steigenden Strompreise wurde aufgrund der zum Zeitpunkt des Workshops komplexen und angespannten politischen Situation nicht behandelt. Weiters wurden in den Szenarien die Zunahme der Rohstoffpreise und der Inflation und deren Einfluss auf Investitionsprojekte nicht weiter berücksichtigt.

Des Weiteren wurden folgende gemäß Abbildung 43 als relevant eingestufte Trends berücksichtigt:

- Zunahme des E-Fahrzeuganteils auf 25 %, aber nur 20 % Gleichzeitigkeit
- Regularien: Benchmarkvergleich (Vorgabe E-Control), Spannungsqualität (Vorgabe E-Control), Rechtliche Rahmenbedingungen des STELWOG, TOR
- Zunahme der Dezentralisierung der Energieerzeugung,
- Ziele der Politik zur Dekarbonisierung des Energiesystems bleiben bestehen und
- zunehmender Stellenwert von Flexibilitäten.

### 9.3.4 Schritt 3: Generierung der Zukunftsinformation

Im nächsten Schritt wurde die Zukunftsinformation generiert. Als Basis dienten dabei die möglichen Ausprägungen der Trendsteckbriefe aus Anhang 5. Die Ausprägungen der Trendsteckbriefe wurden in diesem Prozessschritt an die Randbedingungen des betrachteten Unternehmens angepasst, um die Zukunftsinformationen zu generieren. Diese sind in Tabelle 22 aufgelistet.

### 9.3.5 Schritt 4: Selektion & Kombination

Im folgenden Prozessschritt werden die einzelnen Ausprägungen der morphologischen Matrix aus Tabelle 22 zu plausiblen und realistischen Zukunftsszenarien kombiniert, wobei drei Szenarien aus einem möglichen Pool von 23 328 Szenarien ausgewählt werden mussten. Die Vorgabe für die drei Szenarien waren die folgenden:

- ein business-as-usual-Szenario zu entwickeln, in dem es zu keinen bedeutenden Veränderungen und Investitionen kommt,
- ein Szenario, in dem der Ausbau erneuerbarer Energien im Vordergrund steht und
- ein Szenario, in dem umfangreiche Investitionen getätigt werden, um den Einsatz neuer Technologien zu intensivieren und die Dekarbonisierung des heimischen Energiesystems zu beschleunigen.

	Nutzung regenerativer Energie	Zunahme des Stromverbrauchs	Digitalisierung (Smart-Meter)	Regularien		Sektorkopplung		Anbindung an das übergeordnete Netz	Verkabelungsgrad (Mittelspannung)
				Datenschutz	Netzzugang	Wärme	Gas		
Ausprägung A	Zunahme um 250 % PV und Windpark Großprojekte + Wasserkraft	Zunahme der max. Last durch Großverbraucher (Eisenbahn) um 75 %	99 % SM Anteil / 99 % Rechenzentrum / 70 % SM mit Monitoring	Strenger Datenschutzrichtlinien	Erleichterter Netzzugang	Kopplung Strom und Fernwärme durch Großwärmepumpe	Pilotanlage zur Wasserstoff Herstellung	Verstärkung der Netzanbindung an das übergeordnete 20 kV-Netz auf 35 MW	Ausbauoffensive / Verkabelungsgrad 80 %
Ausprägung B	Zunahme um 100 % PV Großprojekte Windpark Repowering Windkraftanlagen + Wasserkraft	Gemäßigte Zunahme der max. Last um 10 %	95 % SM Anteil / 95 % Rechenzentrum / 30 % SM mit Monitoring	Gleichbleibende Datenschutzrichtlinien	Strengere Netzzugangsregeln vorwiegend für Großanlagen (>1 MW)	Ausbauoffensive Wärmepumpen	Keine Zunahme	Anbindung an das Bahnnetz (Elektrifizierung des Schienenverkehrs) UW-Mitte (110 kV Umspanner + 15 MW Bahnstrom-Umrichter)	Kontinuierlicher Ausbau / Fokus auf den Tausch alter Kabelstrecken / Verkabelungsgrad 65 %
Ausprägung C	Zunahme um 40 % PV Kleinanlagen	Stagnierender Strombedarf	95 % SM Anteil / 95 % Rechenzentrum / 0 % SM mit Monitoring	Gelockerte Datenschutzrichtlinien	Strengere Netzzugangsregeln für Groß- und Kleinanlagen	Keine Zunahme	Kein Ausbau der Netzanbindung	Gemäßigter Ausbau / Nur Fehlerbehebung bei alten Kabelstrecken Verkabelungsgrad 55 %	
Ausprägung D		Rückgang der max. Last um 5 %			Unveränderte Netzzugangsregeln				

Green Tech Cluster > 100 % Erneuerbare Zero Investment

Tabelle 22: Morphologische Matrix; Quelle: Eigene Darstellung

Auf Grundlage dieser Vorgaben wurden die folgenden drei Szenarien im Rahmen einer Diskussion zwischen den Workshopteilnehmern entwickelt. Die Szenarien wurden in diesem Schritt bereits gedanklich skizziert, um so ein Grundgerüst für die Szenarien zu erstellen. So wurde zugleich die Plausibilität der Szenarien analysiert. Das Szenariengerüst wurde auf einem Whiteboard festgehalten. Im Anschluss an den Workshop wurden die Ergebnisse vom Whiteboard ausformuliert und wie folgt zusammengefasst:

**— Zero Investment**

- Eine Zunahme von 40 % der Einspeisekapazitäten an erneuerbaren Energien im lokalen Netz. Hauptsächlich PV-Kleinanlagen, die vor allem auf Netzebene 7 zu Spannungsqualitätsproblemen führen. Das Windparkpotential in der Region wird zwar genutzt, jedoch werden Einspeisepunkte in anderen Verteilnetzen (Energie Steiermark) gewählt.
- Aufgrund des Bevölkerungsrückgangs sowie des Ausscheidens einzelner Gewerbebetriebe kommt es trotz des Anstiegs der Lasten durch die E-Mobilität zu einem Rückgang der Lasten um ca. 5 %.
- Der Smart-Meter-Anteil ist gemäß gesetzlichen Vorgaben mit 95 % abgeschlossen und an das Rechenzentrum angeschlossen. Aufgrund versäumter Investitionen in der Smart-Meter-Technologie und der fehlenden Kommunikationsinfrastruktur (Lichtwellenleiter, GSM, etc.) verfügen die Smart Meter über keine Möglichkeit des Spannungsqualitäts-Monitorings.

- Hinzukommt, dass aufgrund der Datenschutzrichtlinien der Nutzen der Fernwirkanbindung der Smart Meter teilweise verloren geht und aufgrund der Opt-out-Lösung dem Netzbetreiber die täglichen ¼-h-Werte der Smart Meter Großteils vorenthalten bleiben.
- Die Regularien hinsichtlich des Netzzugangs für private Kunden bleiben unverändert. Aufgrund der Kapazitätsgrenzen im Niederspannungsnetz und des entsprechenden Monitorings dieser Grenzen wird ein ‚Wildwuchs‘ an PV-Anlagen verhindert. Außerdem werden bestehende Netzzugangsverträge und tatsächlich installierte Leistungen bzw. Erzeuger genauer kontrolliert. Für größere PV-Parks ( $\geq 1$  MW) werden die Auflagen strenger und der Netzbetreiber kann striktere Netzzugangsregeln und verpflichtende Maßnahmen (Blindleistungsregelung/negative Regelenenergie/P(U)/Q(U)/virtuelle Schwungmasse/Echtzeitdaten) vorgeben. Regulative Vorgaben hinsichtlich des Spannungsqualitäts-Monitorings sind jedoch zu erfüllen. Zudem wird durch das Benchmarking mit anderen Netzbetreibern der Kostendruck zunehmen und damit werden auch die Investitionen in das Netz zurückgehen.
- Die Sektorkopplung ist bis auf wenige Wärmepumpen noch nicht relevant. Der Anteil an E-Fahrzeugen beträgt rund 25 %, wobei diese vorwiegend im privaten Umfeld geladen werden. Da die Standardwallboxen ab 3,7 kW einphasig oder ab 11 kW dreiphasig genehmigungspflichtig sind, hat der Netzbetreiber einen Überblick über die Entwicklung. In einigen Netzabschnitten werden entsprechende Kapazitäten nachgerüstet werden. Für einzelne öffentliche Ladestationen wird der Bedarf an zusätzlichen Transformatorstationen steigen.
- Die Anbindung an das übergeordnete Netz bleibt unverändert und die Anschlussleistung bleibt auf 9 MW Bezug und 12 MW Lieferung begrenzt. Aufgrund der Zunahme an erneuerbaren Energien und des Rückgangs der Lasten kann es an vereinzelt Tagen zu einer Überschreitung der Anschlussleistung kommen und es wird zu viel Energie in das übergeordnete Netz gespeist. In diesem Fall muss aktiv in die Stromproduktion eingegriffen werden.
- Es werden geringfügige Investitionen in die bestehende Netzinfrastruktur getätigt. Im weit ausgedehnten Freileitungsnetz kommt es immer wieder zu Leitungsschäden. Der zunehmend schlechter werdende Zustand der Kabelsysteme führt insbesondere auf der 20-kV-Ebene zu gehäuften Ausfällen im städtischen Bereich. Oft resultieren Isolationsfehler aufgrund der Spannungsanhebung in einer Folge von Erdschlüssen. Die Zeit, die für die Lokalisierung von Fehlerstellen und die Behebung benötigt wird, nimmt zu.

— > **100 % erneuerbare Energien**

- Aufgrund einer Zunahme an PV-Großprojekten, aber auch durch die Leistungserhöhung bestehender Windkraftanlagen sowie die Nutzung der verfügbaren Kapazitäten an Wasserkraft steigt die Anschlussleistung erneuerbarer Energien um 100 %. Wegen der Zunahme volatiler Einspeiser kommt es vermehrt zu Spannungs- und Blindleistungsproblemen, da die Netzstruktur zunehmend an ihre Grenzen stößt. Oftmals überschreitet die Stromproduktion die Last im Netz und ein Großteil des grünen Stroms wird in das vorgelagerte Übertragungsnetz der Energie Steiermark gespeist.

- Die maximale Last im Netz nimmt um 10 % zu. Grund dafür sind einzelne Investitionen von Industrie und Gewerbekunden. Ein Teil davon ist auch auf den Ausbau von Wärmepumpen zurückzuführen, sowie der Elektrifizierung des Verkehrs.
- Der Smart-Meter-Rollout ist nahezu abgeschlossen, wobei sich vereinzelt Kunden gegen die Installation wehren und so nur 95 % der Haushalte mit Smart Metern ausgestattet sind. Circa 40 % der Smart Meter verfügen über Energie- und Spannungsqualitäts-Monitoring-Funktionalitäten. Die Kontroverse hinsichtlich der Abrechnung von Smart Metern, insbesondere hinsichtlich der Genauigkeit, wird weitergeführt. Wo früher die Überprüfung einzelner Zähler aus einer Charge möglich war, muss nun jeder Smart Meter nach zehn Jahren geeicht werden.
- Aufgrund strengerer Datenschutzrichtlinien ist der Zugriff auf die Smart-Meter-Daten nur eingeschränkt möglich. Es werden weder die Tageswerte noch die Lastprofile übermittelt und der Zugriff auf aktuelle Messdaten ist erheblich eingeschränkt. Weiters wird die Breaker-Funktion für unzulässig erklärt, wodurch die Stromlieferung nicht mehr aus der Ferne abgestellt werden kann.
- Wegen der von der Politik gestellten Vorgaben an eine CO<sub>2</sub>-neutrale Zukunft wird der Netzzugang für erneuerbare Erzeugungsanlagen einfacher. So werden die Vorgaben eingeschränkt, die der Netzbetreiber an den Kunden stellen kann (siehe TOR). Aus Datenschutzgründen kann sogar der Zugriff auf Messwerte von Großanlagen verhindert werden. Die Kosten für den Netzanschluss für Kunden werden reduziert. Mögliche zusätzliche Kosten für Leistungserhöhungen müssen vorwiegend vom Netzbetreiber übernommen werden. Außerdem entfällt die Pflicht der Kunden zur Meldung von E-Ladestellen bis 11 kW. Bei einem E-Fahrzeuganteil von 25 % führt dies bereits zu Problemen in einzelnen Netzabschnitten, da teils die vertraglich vereinbarte Anschlussleistung überschritten wird. Zudem unterliegt aufgrund regulativer Vorgaben die Spannungsqualität in den einzelnen Netzabschnitten einem präziseren Monitoring, was zu zusätzlichen Investitionen in entsprechende Messsysteme führt.
- Durch eine Ausbauoffensive für Wärmepumpen, die beträchtlich durch die Politik gefördert werden, kommt es zu einer zunehmenden Kopplung mit dem Wärmesektor, wobei diese Kopplung nur in eine Richtung erfolgt und aufgrund gelockerter Regularien Möglichkeiten zur Flexibilisierung (Lastmanagement) fehlen.
- Aufgrund der Zunahme regenerativer Energien im Netz sowie des gestiegenen regulativen Drucks kann bzw. darf die Lösung nicht mehr die Leistungsreduktion im Schwachlastfall sein. Daher muss die Anbindung an das übergeordnete Netz auf 35 MW verstärkt werden. Die stärkere Anbindung hat wegen einer gestiegenen Kurzschlussleistung zusätzliche positive Effekte auf die Spannungsqualität.
- Im Zuge des Ausbaus erneuerbarer Energien werden alte Freileitungssysteme durch neue Kabeltrassen ersetzt. So können Störereignisse insbesondere im ländlichen Raum und auf den Almen reduziert werden. Außerdem reduziert sich der Wartungsaufwand durch die Kabeltrassen erheblich. Zusätzlich wird der Fokus auf die Modernisierung der Kabelsysteme vor allem im städtischen Raum genutzt, um die Ausfallraten aufgrund alter Kabelsysteme zu reduzieren.



### — Green-Tech-Cluster

- Durch hohe Investitionen in erneuerbare Energien, die auch politisch in hohem Maß gefördert werden, nimmt die Kapazität an erneuerbaren Energien im Netz um 250 % zu. Durch den Bau eines neuen Windparks sowie die Revitalisierung der bestehenden Anlagen macht die Windkraft ca. zwei Drittel der Erzeugungskapazitäten aus. Daneben wird PV der zweitrelevanteste Erzeuger werden. Da die Möglichkeiten von Wasserkraftwerken bereits weitgehend ausgeschöpft wurden, kommt es hier lediglich zu einer Zunahme um 3,2 MW. Somit steigt durch die dezentrale Erzeugung die Volatilität im Netz und damit nehmen auch Spannungsqualitätsprobleme im Netz zu.
- Durch den Werksausbau eines Großkunden, einem Zuzug aus dem Umland und die zunehmende Sektorkopplung, inkl. Anstieg der Lasten durch die E-Mobilität nimmt die Last im Netz um 8,5 MW zu. Daneben wurde die Bahn als neuer Kunde gewonnen (15 MW). So steigt die reale maximale Last im Netz um rund 75 % auf 23,5 MW.
- Der Smart-Meter-Rollout ist abgeschlossen und 100 % der Kunden sind mit einem Smart Meter ausgestattet. Durch frühzeitige Investitionen in die Infrastruktur sind 100 % der Kunden an das Rechenzentrum angeschlossen und rund 80 % der Kunden verfügen über Smart Meter, die über ein Spannungsqualitäts-Monitoring-System verfügen. Die Messdaten sind über die Fernwirkzentrale abrufbar, jedoch reichen die Kommunikationsinfrastruktur und die Rechenleistung nicht, um die gesamten Messdaten in Echtzeit abzurufen.
- Gelockerte Datenschutzrichtlinien erlauben den Zugriff auf die gesammelten ¼-h-Werte der Kunden. So kann der Netzbetreiber nicht nur präzise Informationen über die Verteilung der Lasten einholen, sondern auch exakte Lastprofile erstellen. Somit ist auch die Erstellung präziser Prognosen der Lasten möglich. Zusätzlich erhält der Netzbetreiber Daten über die Spannungen und Blindleistungen in den einzelnen Netzabschnitten und verfügt so über ein effektives Monitoringsystem. Weiters bleibt die Breaker-Funktion erhalten, was die Abschaltung des Kunden über die Ferne ermöglicht.
- Strengere Netzzugangsregeln für Groß- und Kleinkunden schaffen den Stadtwerken mehr Möglichkeiten, die Netzzugangsverträge zu gestalten. So können sie auch bei PV-Kleinanlagen eine  $\cos(\phi)$ -Vorgabe sowie die Begrenzung der Erzeugungsleistung vorschreiben. Auch müssen E-Ladepunkte ab einer Leistung von 3,7 kW gemeldet werden. Dadurch kann der Netzbetreiber einen dreiphasigen Anschluss sowie die aktive Begrenzung der Ladeleistung ab 3,7 kW vorschreiben. Als mögliche Kommunikationsmedien können LWL, GSM oder Rundsteuersignale sowie die direkte Befehlsvorgabe bei Spannungsbandverletzungen durch den Smart Meter verwendet werden. Bei einem E-Fahrzeuganteil von rund 25 % können durch den Einsatz dieser Ladeleistungsbegrenzung Spannungsqualitätsprobleme in einzelnen Netzabschnitten verhindert werden.
- Mehrere Treiber fördern die Sektorkopplung im lokalen Verteilnetz, darunter die politisch getriebene Dekarbonisierung des österreichischen Energiesystems, die steigenden Gaspreise sowie der Bedarf an Flexibilitäten aufgrund der hohen Volatilität im Netz. Neben der erheblichen Zunahme an Wärmepumpen wird auch mit der ersten Großwärmepumpe eine zunehmende Kopplung mit dem Wärmesektor erreicht. Außerdem wird die erste Pilotanlage zur Wasserstoffproduktion an das Netz angeschlossen, die zu 100 % aus lokaler erneuerbarer Energie

H<sub>2</sub> erzeugt. Der Wasserstoff dient der heimischen Wirtschaft, wobei ein Teil des Wasserstoffs auch in das Gasnetz eingespeist wird.

- Durch die Elektrifizierung der Bahn werden Synergieeffekte zwischen dem Bahnbetreiber, den Stadtwerken und der ÖBB genutzt. Da die zentrale Schaltstelle des Netzbetreibers in unmittelbarer Nähe zur Endstation der Bahn liegt, wird hier gemeinsam ein neues Umspannwerk errichtet. In diesem wird ein neuer 40 MW 110/20 kV regelbarer Umspanner sowie ein 15 MW 20/15 kV Umrichter zur Kopplung an das Bahnstromnetz installiert.
- Durch den beträchtlichen Ausbau erneuerbarer Energien kommt es auch zu einer Ausbauoffensive im Kabelnetz. Dabei werden bestehende Freileitungen durch Kabel ersetzt. Außerdem müssen neue Kabeltrassen gebaut werden. Zusätzlich wird das bestehende Kabelnetz modernisiert bzw. es werden neue Trassen gebaut, um einen höheren Vermaschungsgrad zu erreichen.

### 9.3.6 Schritt 5: Auswahl der Technologien

Nun wurde eine Auswahl an Technologien getroffen, die anhand der Szenarien bewertet werden sollen. Die Technologien wurden aus Tabelle 19 ausgewählt. Dabei wurden zwölf Technologien aus unterschiedlichen Elementen der Versorgungssicherheit gewählt. Es handelt sich dabei um Technologien, deren Einsatz der Kooperationspartner erwägt. Folgende Technologien wurden dabei ausgewählt:

Digital Twin, Intelligente Ortsnetzstationen, SCADA im NSP-Netz, Ermittlung der Spannungsqualität und Netzauslastung mittels Smart Meter, regelbare Ortsnetztrafos, MV/DC-Übertragung, Gridforming mittels Umrichter, negative Regelenergie von erneuerbaren Energien, Lastmanagement mittels Rundsteueranlagen, Diagnostik von Freileitungen mittels Drohnen, regenerative Brennstoffzelle (2 MW/20 MWh).

### 9.3.7 Schritt 6: Nutzwertanalyse

Im letzten Schritt des Workshops wurde eine Nutzwertanalyse durchgeführt. Bei dieser wurde einerseits die relative Technologieposition, die die eigene Technologieposition sowie die Technologiebeherrschung des Kooperationspartners beschreibt, sowie andererseits die Technologieattraktivität, die von externen Größen beeinflusst wird berücksichtigt.<sup>288</sup> Für die beiden Größen wurden jeweils vier Kriterien gewählt, die wie folgt lauten:

#### Relative Technologieposition

Der **Beherrschungsgrad** ist ein Maß dafür, wie gut das Unternehmen die eingesetzte Technologie beherrscht.<sup>288</sup>

Mit der **Realisierungsgeschwindigkeit** wird beschrieben, wie schnell die Technologie im Betrieb eingesetzt werden kann.

Der **Aufwand** sagt aus, wie aufwändig die Implementierung der Technologie hinsichtlich des relativen Kostenaufwands ist.

---

<sup>288</sup> Gochermann (2020), S.22-23

Das Kriterium der **Komplementär(-technologien)** ist abhängig vom jeweiligen Szenario und wird daran gemessen, ob die nötigen Komplementär- und Anwendungstechnologien zur Verfügung stehen.<sup>288</sup> Anhand dieses Kriteriums soll zudem bewertet werden, ob der Einsatz der Technologie im jeweiligen Szenario möglich ist, bzw. ob die entsprechenden regulativen Rahmenbedingungen gegeben sind.

### **Technologieattraktivität**

Der **Technologiereifegrad** wurde entsprechend der Bewertung aus der Umfrage aus Kapitel 8.3.2 bestimmt.

Anhand des **Risikos** soll bewertet werden, mit welchen Risiken der Technologieeinsatz verbunden ist. Diese Risiken können finanzieller Natur (z. B. hohe Gefahr einer Fehlinvestition), aber auch technischer Natur sein (z. B. wenn der Technologieeinsatz noch nicht ausreichend erprobt ist).

Die **Anwendungsbreite** ist ein Maß dafür, wie vielseitig die Technologie eingesetzt werden kann und in wie vielen verschiedenen Einsatzbereichen sich mit der Technologie ein Nutzen generieren lässt?<sup>288</sup>

Mit dem Kriterium der **Versorgungssicherheit** soll bewertet werden, wie hoch der Beitrag der Technologie zur Versorgungssicherheit im jeweiligen Szenario ist.

Die oben angeführten Kriterien müssen entsprechend gewichtet werden. Dafür eignet sich der paarweise Vergleich, bei dem die einzelnen Kriterien einander gegenübergestellt werden und sodann entschieden wird, ob der Zeilenwert wichtiger (= 1), gleich wichtig (= 0,5) oder weniger wichtig (= 0) ist. Die einzelnen Gewichtungen sind in Tabelle 23 aufgelistet. In Tabelle 24 und Tabelle 25 im Anhang ist zudem der durchgeführte paarweise Vergleich zu finden.

Relative Technologieposition		Technologieattraktivität	
Kriterium	Relative Gewichtung	Kriterium	Relative Gewichtung
Beherrschungsgrad	23 %	Technologiereifegrad	8 %
Realisierungsgeschwindigkeit	23 %	Risiko	25 %
Aufwand	31 %	Anwendungsbreite	17 %
Komplementär(-technologien)	23 %	Versorgungssicherheit	50 %

Tabelle 23: Relative Gewichtung der Kriterien der Nutzwertanalyse, Quelle: Eigene Darstellung

Im Anschluss wurde die eigentliche Nutzwertanalyse zusammen mit dem Kooperationspartner durchgeführt werden. Bei der Bewertung der Kriterien Komplementär(-technologien) und Versorgungssicherheit wurde der Fokus auf den Technologieeinsatz in den einzelnen Szenarien gelegt. Die Nutzwertanalysen wurden dem Anhang beigelegt und sind Tabelle 26 und Tabelle 27 in Anhang 7 zu entnehmen. Im Anschluss an die Nutzwertanalyse wurden die Technologieportfolios erstellt, wobei die Technologieattraktivität auf der Abszisse und die relative Technologieposition die Ordinate dargestellt wurde. Dabei zeigt sich, dass sich die Technologieportfolios deutlich voneinander unterscheiden. Die szenarienabhängigen Portfolios ergeben sich gemäß den Abbildung 45, Abbildung 44 und Abbildung 46. Dabei bildet die vertikale, in grau gehaltene Linie den Übergang zwischen dem Bereich Investition und Selektion. Die grün eingekreisten Technologien sollten in jedem Fall weiterverfolgt werden, da sie sowohl eine hohe relative Technologieposition als auch eine hohe Technologieattraktivität aufweisen. Die in Gelb markierten Technologien haben ebenfalls eine hohe Technologieattraktivität, jedoch nur eine mittelmäßige

Durchführung des szenarienbasierten Technologie- Früherkennungs- u. Technologie-Bewertungsprozess

relative Technologieposition. Der Einsatz dieser Technologien soll in den Szenarien exploriert werden. Technologien, welche nur eine geringe bis mittelmäßige Technologieattraktivität oder eine geringe relative Technologieposition haben, werden in den Szenarien nicht untersucht. Dabei kommt der Technologieattraktivität ein höherer Stellenwert für die Wahl der Technologien zu, da sich diese im Vergleich zur relativen Technologieposition nicht so einfach beeinflussen lässt.

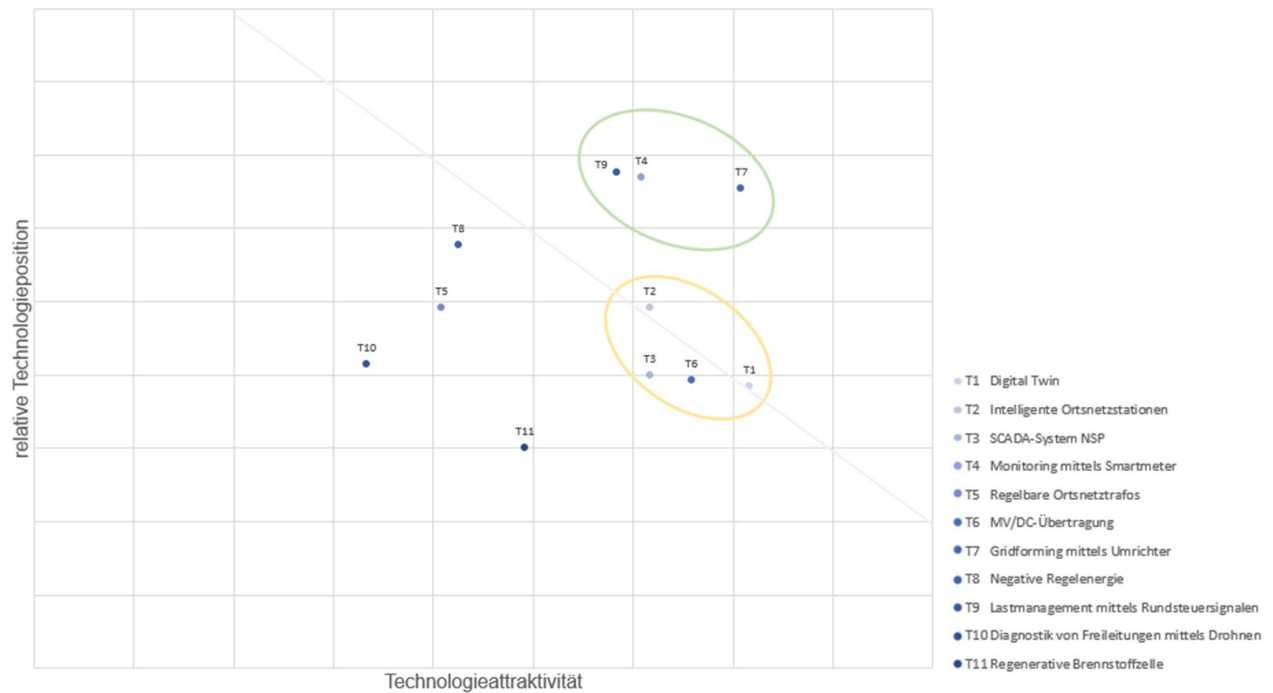


Abbildung 45: Technologieportfolio – Szenario: Zero Investment, Quelle: Eigene Darstellung

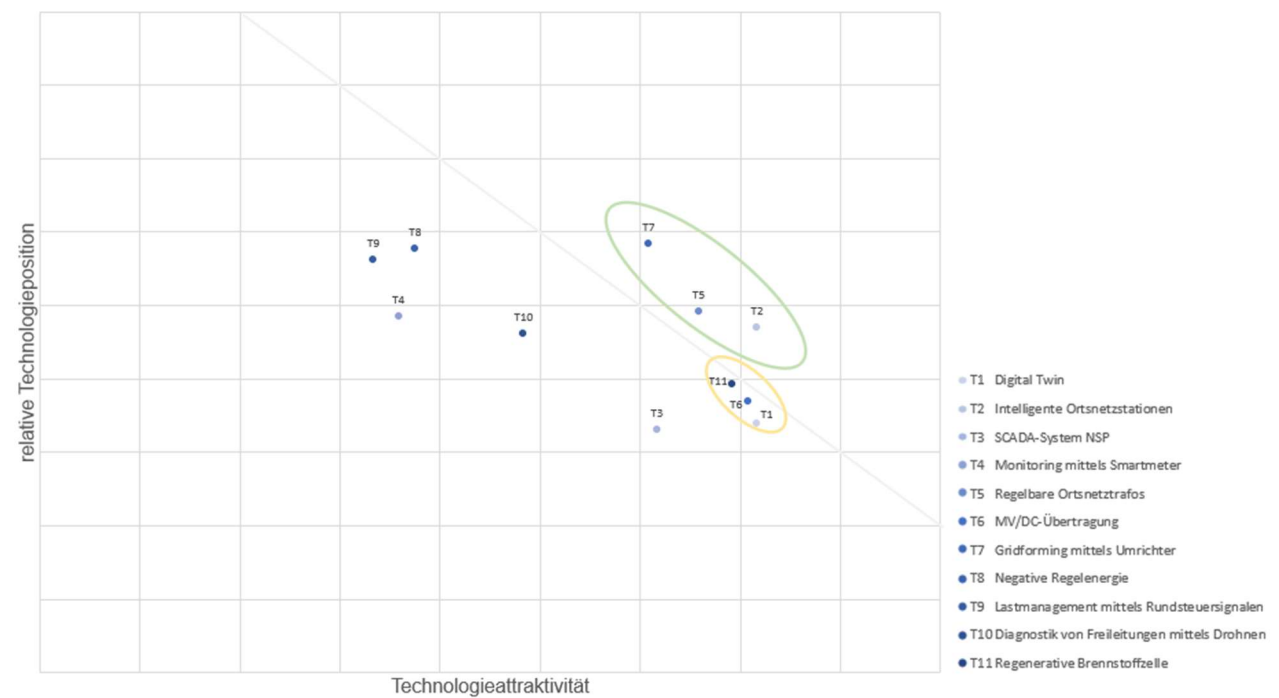


Abbildung 44: Technologieportfolio – Szenario: > 100 % erneuerbare Energien, Quelle: Eigene Darstellung

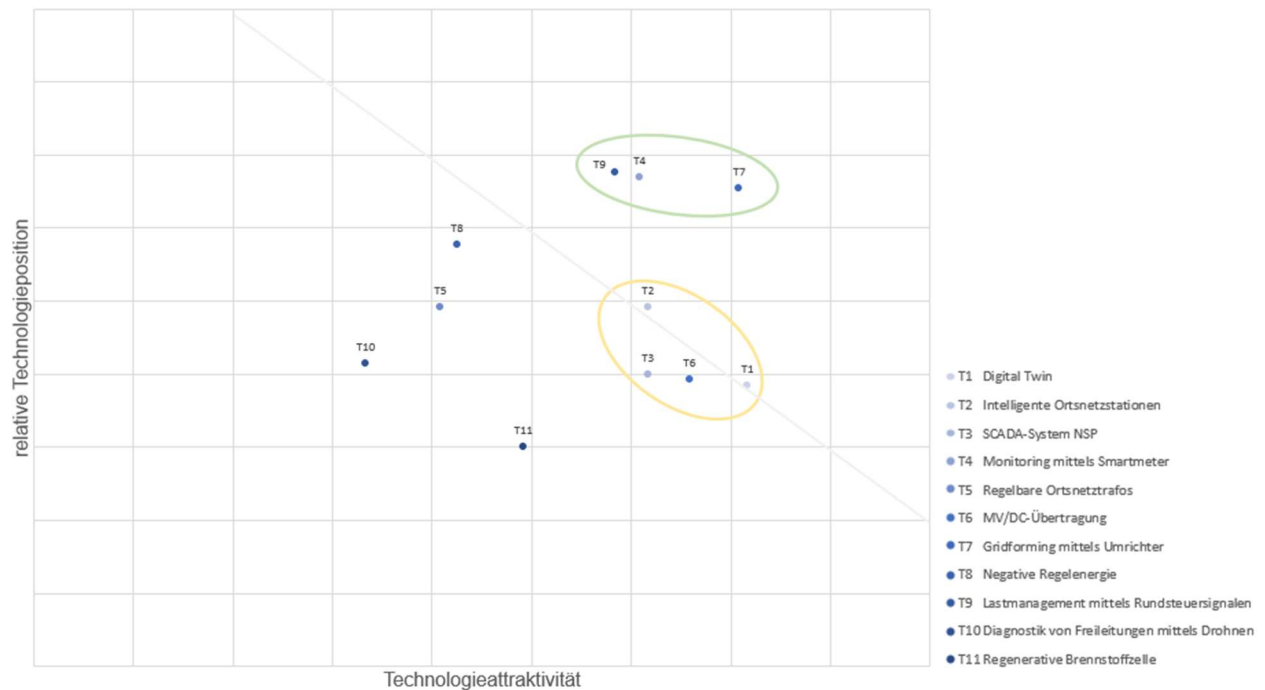


Abbildung 46: Technologieportfolio – Szenario: Green-Tech-Cluster, Quelle: Eigene Darstellung

## 9.4 Konzeption

Im folgenden Kapitel werden auf Basis der bisherigen Erkenntnisse und Ergebnisse der Arbeit technische Konzepte zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit im elektrischen Verteilnetz des Kooperationspartners entwickelt. Dabei werden stets die Zukunftsszenarien und Technologieportfolios aus Kapitel 9.3 berücksichtigt. Die Konzepte werden dabei in Form von Zukunftsbildern kommuniziert. Diese werden als Erzählungen aus dem Jahr 2032 in Kombination mit illustrierten Zukunftsbildern vermittelt. Die Reise in die Zukunft beginnt jetzt:

Es ist das Jahr 2032. Der erste bedeutende Meilenstein der #mission2030 der österreichischen Bundesregierung liegt bereits in der Vergangenheit und der ambitionierte Plan, den Gesamtstromverbrauch zu 100 % aus erneuerbaren Energien zu beziehen, konnte noch nicht vollständig umgesetzt werden werden, vor allem, da der Bedarf an Flexibilitäten erheblich ist, die entsprechenden Möglichkeiten wie Speicher und Sektorkopplung jedoch nicht schnell genug ausgebaut wurden. Daher sind noch immer Gaskraftwerke zur Bereitstellung von Regelenergie an das Netz angeschlossen. Diese werden zumindest vereinzelt mit Biogas in Kombination mit grünem Wasserstoff betrieben. Die fortschreitende Dekarbonisierung wurde auch auf den Verkehrssektor erstreckt und bereits 25 % der Fahrzeuge in Österreich fahren mit grünem Strom. Dieser wird großteils dezentral in PV-, Windkraft- sowie in Wasserkraftwerken erzeugt, wobei sich das Weinviertel bereits von einzelnen dezentralen Strukturen hin zu einem Flächenkraftwerk entwickelt hat. Auch in der Steiermark ist u. a. im Mürztal ein Verbund einer Vielzahl an Windparks auf ähnlich weiträumigen Flächen zur Energieerzeugung an das Netz angeschlossen. Die Integration der erneuerbaren Energien hat in der Vergangenheit immer wieder zu Blindleistungs- und Spannungsproblemen geführt. Mittlerweile fordert die E-Control von den Netzbetreibern ein umfangreiches Spannungsqualitäts-Monitoring. Auch hat die E-Control auf die Zunahme der Kosten für

das Stromnetz in Form umfangreicher Benchmarkvergleiche reagiert, bei denen die Effizienz der einzelnen Netzbetreiber verglichen wird. Dies führte in der Vergangenheit zum ‚Abverkauf‘ zahlreicher kleiner Netzbetreiber in der Steiermark. Heute, im Jahr 2032, gibt es in der Steiermark nurmehr 18 Verteilnetzbetreiber. In dieser Welt agieren die Stadtwerke in drei unterschiedlichen Szenarien:

#### **9.4.1 Zukunftsbild 1: Zero Investment**

Aufgrund des gestiegenen Kostendrucks wurden die Investitionen in das Netz der Stadtwerke auf das Nötigste reduziert. So wurde der Smart-Meter-Rollout gesetzeskonform durchgeführt, die eingesetzten Produkte verfügen jedoch nur über die notwendigsten Funktionen. So kann kein flächendeckendes Monitoring durchgeführt werden. Stattdessen wurden in den vergangenen Jahren relevante Knotenpunkte zu intelligenten Ortsnetzstationen umgerüstet, die über ein angemessenes Energie- und Spannungsqualitäts-Monitoring verfügen. Auch wurden im Zuge der Erneuerung bestehender Trafostationen vermehrt intelligente Kompaktstationen anstatt der alten Turmstationen verbaut. Aufgrund von Einsparungen wurden nur geringe Summen in das Mittelspannungsnetz investiert. Der Betrieb reagiert mittlerweile erst im Fehlerfall mit dem Tausch alter Kabelsysteme bzw. beschränken sich die Maßnahmen der Reparatur der Kabelstrecke auf den unmittelbaren Fehlerbereich. Auch wurde das Freileitungsnetz kaum adaptiert. Jedoch werden die bestehenden Freileitungen regelmäßig mit Drohnen befliegen. Da die Drohnen die Leitungen autonom befliegen und den Zustand mithilfe künstlicher Intelligenz bewerten, können Fehler aufgrund von Trassenbewuchs oder Fehler an den Leitungen frühzeitig identifiziert werden. Außerdem wird der Betrieb deutlich entlastet, da die Leitungen nicht mehr begangen werden und die Fehlerhäufigkeit signifikant abnimmt. Trotz des Einsatzes von Drohnen können Fehler an den Freileitungen nicht vollständig verhindert werden. Da die intelligenten Ortsnetzstationen an den kritischen Knotenpunkten und Abzweige schon teilweise mit fernwirkbaren Anlagen einschließlich geeigneter Schutztechnik ausgestattet wurden, können die Fehlerstellen schnell freigeschaltet werden. Unter Zuhilfenahme der Drohnen kann im Anschluss der Fehlerort zügig bestimmt werden.

Der Anteil der installierten Leistung von erneuerbaren Erzeugern hat sich seit dem Jahr 2022 zwar nur um 40 % erhöht, jedoch kann mittlerweile den politischen Zielen zumindest regional Rechnung getragen werden und das Netzgebiet wird großteils mit regionaler erneuerbarer Energie versorgt.

Vielmehr ergibt sich das Problem, dass die Kapazitäten zum vorgelagerten Netz am Limit sind und vereinzelt zu viel Energie in das Netz der Energie Steiermark zurückgespeist wird. Zudem ist die maximale Last in den letzten Jahren aufgrund von Abwanderung um 5 % gesunken ist. Um dem entgegenzuwirken, haben die Stadtwerke frühzeitig die Netzzugangsverträge adaptiert und eine verpflichtende Leistungsreduktion für Anlagen > 0,25 MW vorgeschrieben. Auch wurde diese Vorgabe im Zuge des Repowerings bestehender Windkraftanlagen verpflichtend. Mittlerweile erfolgt der Eingriff in die Erzeugungsanlagen für mehrere Stunden pro Woche. Neben der Leistungsreduktion (dynamisches Einspeisemanagement) schöpfen die Stadtwerke mittlerweile die Möglichkeiten der TOR weitgehend aus und nutzen vermehrt die Funktionalitäten der asynchronen Erzeuger und deren Gridforming-Funktionalitäten. Dies erfolgt vorwiegend durch Blindleistungsregelung und die statische und dynamische Netzstützung.



Abbildung 47: Zukunftsszenario Zero Investment, Quelle: Eigene Darstellung

Wegen der Zunahme von vorwiegend PV-Kleinanlagen, die in das lokale Verteilnetz einspeisen, musste in der Vergangenheit das Übersetzungsverhältnis von Ortsnetztransformatoren angepasst werden. Da heute, im Jahr 2032, viele Haushalte ihre Elektrofahrzeuge zu Hause laden, kommt es durch die Kombination an Erzeugungsspitzen am Tag und die Lastspitzen in der Nacht zu Spannungsbandverletzungen in vereinzelt Netzabschnitten. Mit dem vermehrten Einsatz regelbarer Trafos haben die Stadtwerke die vereinzelt auftretenden Spannungsqualitätsprobleme mittlerweile unter Kontrolle. Aufgrund der aktuellen regulativen Möglichkeiten wurde bereits frühzeitig darauf geachtet, dass der Zubau von PV-Anlagen und Ladestationen kontrolliert und im Rahmen der Netzkapazitäten erfolgt. Trotz geringer Investitionen konnten die Stadtwerke im Monitoringbericht der E-Control aus dem Jahr 2031 mit einer hohen Versorgungsqualität überzeugen. Dieses Ergebnis ist auf strategische und gezielte Investitionsentscheidungen bei der Regelung der großen Erzeuger, den Bau intelligenter Ortsnetzstationen



und die Anschaffung von Drohnen zum Freileitungsmonitoring zurückzuführen. Außerdem wurde der regulative Handlungsspielraum in den Netzzugangsverträgen ausgenutzt sowie ein unkontrollierter ‚Wildwuchs‘ an dezentralen Anlagen im Verteilnetz verhindert. Das einzige Manko stellen jedoch weiterhin die alten Kabelsysteme dar, bei denen es im Fehlerfall häufig zu Mehrfacherdschlüssen kommt.

#### **9.4.2 Zukunftsbild 2: > 100 % erneuerbare Energien**

Nachdem in den letzten Jahren der Ausbau erneuerbarer Energiequellen vor allem aufgrund vereinfachter Netzzugangsregeln erheblich vorangetrieben wurde, liegt der Anteil der maximalen Erzeugungsleistung im Netz der Stadtwerke heute, im Jahr 2032, bei rund 31 MW. Diese Entwicklung wurde auch durch die Stadtwerke mitgetragen und unterstützt. So wurde die Übertragungskapazität zum vorgelagerten Netz im Jahr 2027 auf 35 MW erhöht. Dieser notwendige Schritt ermöglichte es der Region, nicht nur ihren Strombedarf zu 100 % mit erneuerbaren Energien zu decken, sondern auch, weit mehr Energie zu erzeugen als im Netz benötigt wird. Durch die Verstärkung der Anbindung entstehen zusätzliche Vorteile hinsichtlich der Spannungsqualität, da die Kurzschlussleistung im Netz erhöht wurde. Mit den zusätzlichen Kapazitäten im Netz der Energie Steiermark sinkt der Bedarf an negativer Regelenergie. Für den Anschluss der neuen regenerativen Energieerzeuger wurden vorwiegend neue Kabeltrassen geschaffen, aber auch alte Freileitungen und Kabel gegen neue Kabelsysteme mit höheren Kapazitäten getauscht. Außerdem hat die Evaluierung der Netzsituation ergeben, dass mit dem Anstieg der Kurzschlussleistung auch einige der alten Freileitungen an ihre Betriebsgrenzen kämen. Diese Leitungsabschnitte wurden ebenfalls getauscht bzw. im ländlichen Raum mit zusätzlichen Sicherungen ausgestattet. Der Instandhaltungsaufwand für das Mittelspannungsnetz ist heute trotz der Länge von rund 180 km nicht höher als im Jahr 2022.

Da bis dato sämtliche Kapazitäten für Wasserkraft ausgereizt wurden, ist der vorwiegende Anteil der Erzeuger PV- und Windkraft über Umrichtern an das Netz gekoppelt. Die Möglichkeiten dieser asynchronen Erzeugungseinheiten nutzen die Stadtwerke im Rahmen der regulativen Möglichkeiten, wobei diese für Erzeuger > 0,25 MW in den letzten Jahren nicht wesentlich geändert bzw. verbessert wurden. Der Einsatz und die Nutzung von Gridforming-Funktionalitäten sind aufgrund der hohen Volatilität zwingend notwendig, da es vermehrt zu Blindleistungs- und Spannungsproblemen kommt. Insbesondere die Regelung der Blindleistung in Form von Blindleistungsmanagement wird immer wesentlicher, da Spannungsbandverletzungen mittlerweile täglich vorkommen. Dabei nutzen die Stadtwerke die Möglichkeiten moderner Wechselrichter, die als Blindleistungskompensationsanlagen eingesetzt werden können. Als weiterer Schritt wurde im Zuge des Repowerings des bestehenden Windparks von 7 MW auf 13 MW die erste MV/DC-Strecke im Netz der Stadtwerke im Jahr 2030 in Betrieb genommen. Dies war nötig, da die bestehende Kabelstrecke mit Wechselspannung nicht über die nötigen Übertragungskapazitäten verfügte. Im Betrieb mit Gleichspannung erreicht das Bestandskabel nun höhere Übertragungsleistungen.

Um den Spannungsbandverletzungen entgegenzuwirken, haben die Stadtwerke umfangreiche Maßnahmen getroffen, darunter die Installation einer 2 MW starken und 20 MWh großen regenerativen Brennstoffzelle auf Basis der Redox-Flow-Technologie im Zuge eines Kooperationsprojekts mit der technischen Universität. Diese Batterie wurde direkt im mittlerweile größten PV-Park der Region mit insgesamt 8 MWp installiert und 2028 in Betrieb genommen. Die Batterie unterstützt erheblich dabei, Wirkleistungsüberschüsse zu speichern und dem Netz positive Regelenergie bereitzustellen. Somit können



Spannungsbandverletzungen im Mittelspannungsnetz weiter reduziert werden. Aufgrund der vereinfachten Netzzugangsregeln steigt auch der Anteil von PV-Kleinanlagen im Verteilnetz deutlich an. Dies führt dazu, dass an Sonnentagen die Spannung in einem Großteil der Ortsnetzstationen ansteigt. Da zudem die gängigen Wallboxen zum Laden von E-Fahrzeugen bis zu einer Leistung von 11 kW nicht mehr gemeldet werden müssen, kommt es hingegen nachmittags aufgrund erhöhter Lasten zu Spannungsreduktion in den Ortsnetzstationen. Um diese Problematik zu beheben, wurde bereits frühzeitig in den flächendeckenden Einsatz regelbarer Transformatoren investiert. Trotz des Einsatzes der regelbaren Transformatoren gibt es vereinzelte Schwierigkeiten mit den Strangspannungen aufgrund des einphasigen Ladens von E-Fahrzeugen, die aufgrund der regulativen Freiheiten nicht unter Kontrolle gebracht werden können. Diese Spannungsqualitätsprobleme werden durch den Einsatz intelligenter Ortsnetzstationen erfasst, in denen auch die regelbaren Transformatoren eingehaust sind. Diese Stationen sind mittlerweile vor allem im städtischen Netz für ein zeitgemäßes Monitoring unerlässlich, da die Netzbetreiber regulativ in hohem Maß eingeschränkt sind und die Smart Meter auch nicht mehr für das Energiemonitoring herangezogen werden können. Insbesondere, da neben den Wallboxen auch eine zunehmende Anzahl an Haushalten Wärmepumpen installiert, kann die übliche Anschlussleistung von 4 kW schnell überschritten werden. Ohne den Einsatz intelligenter Stationen hätten die Stadtwerke so nicht einmal mehr Kenntnis über die Lastprofile der einzelnen Netzabschnitte.

Mit den vereinfachten Netzzugängen kommen einzelne Betriebsmittel wie Transformatoren, aber auch Leitungen zunehmend an ihre Grenzen. Da die Kosten für den Netzzugang auf Basis gesetzlicher Rahmenbedingungen für den Kunden verringert wurden, sind die Stadtwerke mit zunehmenden Kosten für den Netzausbau insbesondere im Niederspannungsnetz konfrontiert. Um diesen zielgerichtet durchzuführen, wurde im Jahr 2025 mit der Implementierung eines Digital Twins, der die Mittelspannung vollständig und das Niederspannungsnetz nur teilweise abbildet begonnen. Auf Basis der Messdaten der intelligenten Ortsnetzstationen führt die hausinterne Netzplanung in Verbindung mit einem externen Berater nun umfangreiche Netzsimulationen durch, um freie Kapazitäten sichtbar zu machen. In Kombination mit einer innovativen Netzentwicklung in Form des Blindleistungsmanagement und dem Einsatz regelbarer Ortsnetztrafos, konnten seit der Einführung mittlerweile mehrere tausend Euro an Netzausbaumaßnahmen eingespart werden.

Der Monitoringbericht der E-Control stellte den Stadtwerken auch für das Jahr 2032 wieder ein positives Zeugnis hinsichtlich der Versorgungszuverlässigkeit aus, die in den letzten zehn Jahren trotz beträchtlicher Umbrüche auf konstant hohem Niveau liegt. Jedoch zeigte sich hinsichtlich der Spannungsqualität eine Verschlechterung insbesondere aufgrund von Spannungsunsymmetrien. Zudem ist die Situation der Stadtwerke im Benchmarkvergleich aufgrund der hohen Ausgaben in die Netzinfrastruktur nicht günstig und es muss daher gezielt nach Einsparpotential gesucht werden.



Abbildung 48: Zukunftsszenario > 100 % erneuerbare Energien, Quelle: Eigene Darstellung

### 9.4.3 Zukunftsbild 3: Green-Tech-Cluster

Durch die Elektrifizierung der Bahn konnten die Stadtwerke im Jahr 2024 eine strategische Partnerschaft mit dem Bahnbetreiber eingehen, um gemeinsame Interessen zu verfolgen. Daraus folgte der Bau des Umspannwerks Stadt, das direkt an der Zentrale der Stadtwerke situiert ist. Dort wurde im Jahr 2027 ein neuer 40 MW 110/20 kV regelbarer Umspanner errichtet, der zu einer Anhebung der Kurzschlussleistung auf rund 15 kA führte und die Spannungsqualität deutlich verbesserte. In der Nähe des neuen

Umspannwerks wurde im Jahr 2028 das Unterwerk für das Bahnnetz errichtet, das über einen 15 MW starken bidirektionalen Bahnstromumrichter von 20/15 kV direkt mit dem Umspannwerk (UW) Stadt verbunden ist. Ein wesentlicher Treiber für den Bau des neuen Umspannwerks war auch die Erschließung der regionalen Ressourcen für erneuerbare Energien, die vor allem vom Bahnbetreiber gefördert wurde. Mittlerweile hat sich die Anschlussleistung im Vergleich mit dem Jahr 2022 um mehr als 250 % erhöht und liegt mittlerweile bei ca. 55 MW. Davon bestehen ca. zwei Drittel aus Windenergie, gefolgt von 12,5 MW PV und 6,8 MW Wasserkraft. Die Netzberechnungen haben ergeben, dass mit dem umfangreichen Ausbau die Grenzen der Leitungskapazitäten des Netzes erreicht wären. Daher wurde rechtzeitig der Entschluss getroffen, die Netzanbindung des neuen Windparks und der PV-Großanlagen direkt an das neue UW zu verlegen. Die Anbindung des Windparks erfolgte bereits über eine MV/DC-Strecke. Dadurch konnten die Stadtwerke die Kosten für die Löschung reduzieren und zusätzliche Probleme mit der Powerline-Kommunikation und den Rundsteuersignalen verhindern, die womöglich durch die Vergrößerung des Kabelnetzes und damit der Netzkapazität aufgetreten wären.

Wegen der Zunahme der Einspeisung durch erneuerbare Energien sind die Stadtwerke mittlerweile zunehmend mit erheblichen Spannungsschwankungen im Netz konfrontiert. Zwar speist ein Großteil der neuen leistungsstarken Erzeuger im UW Stadt ein. Durch eine zeitgemäße Spannungsregelung des 40 MW Umspanners wird die Spannung abhängig von der Lastflussrichtung geregelt. Das führt dazu, dass die Sekundärspannung im UW meist sogar nur 19,5 kV beträgt, da die dezentralen Einspeiser die Spannung im restlichen Netz anheben. Jedoch ist diese dezentrale Einspeisung sehr volatil. Durch die Nutzung der Umrichtertechnologie und den aktiven Eingriff in die Blindleistungsregelung haben die Stadtwerke diese Probleme mittlerweile weitgehend unter Kontrolle, vor allem, da durch die regulativen Rahmenbedingungen dem Netzbetreiber hier weitreichendere Möglichkeiten als noch vor zehn Jahren eingeräumt werden. Diese Möglichkeiten nutzen die Stadtwerke nicht nur im Mittelspannungsnetz, sondern mittlerweile auch schon im Verteilnetz. Da fast 70 % der Kunden mit einem Smart Meter ausgestattet sind, der über Monitoringfunktionen verfügt, erhält der Netzbetreiber auf diese Weise präzise Daten über den Zustand der einzelnen Netzabschnitte. Da der Abruf der Daten mittlerweile auch in Echtzeit datenschutzrechtlich erlaubt ist, steht den Stadtwerken somit ein wirkungsvolles Monitoringtool zur Verfügung. Aufgrund der noch nicht genügend ausgebauten Kommunikationsstruktur und der fehlenden Rechenleistung der Server ist der Zugriff nicht auf alle Kundenanlagen im Netz gleichzeitig möglich. Durch den Abruf vereinzelter Kunden in den einzelnen Netzabschnitten können der Zustand und die Spannungsqualität im Netz jedoch ausreichend präzise erfasst werden. Hierfür hat sich die Implementierung eines SCADA-Systems auf der Niederspannung als sinnvoll und als wesentliche Basis zur Koordination entsprechender Maßnahmen im Niederspannungsnetz erwiesen. Mit den neuen umfangreichen regulativen Maßnahmen, die dem Netzbetreiber offenstehen, stellen die Stadtwerke mittlerweile hohe Mindestanforderungen für den Anschluss von PV-Anlagen sowie für leistungsintensive Verbraucher wie Wärmepumpen und E-Ladesäulen, die eine Leistung von über 3,5 MW haben. Da diese Geräte mit einem Empfänger für Rundsteuersignale ausgestattet sein müssen, können die Stadtwerke durch gezieltes Aussenden von Signalen automatisiert Einfluss auf die Anlagen in den einzelnen Netzabschnitten nehmen, um so die Erzeugung und Lasten zu koordinieren, falls es zu Spannungsqualitätsproblemen kommt. Als Grundlage dafür wurde bereits im Jahr 2025 ein vollständiger digitaler Zwilling des Netzes erstellt. Im Zuge des Smart-Meter-Rollouts wurde auch vermehrt auf intelligente Trafostationen gesetzt, wobei diese aufgrund der Steuerung der Lasten und Erzeuger im

Verteilnetz weitgehend nicht mit Regeltrafos ausgestattet sind. Daneben wird auf Basis neuer Regularien in den Netzanschlussverträgen strikt zwischen Bezug und Erzeugung differenziert. Da die maximal zulässige Rückspeisung ins Netz geringer als der Bezug sein kann, werden so vermehrt Netzkunden zur Implementierung von Speicherlösungen gezwungen. Zudem wird aufgrund der regulativen Möglichkeiten zunehmend auf ein statisches Einspeisemanagement zurückgegriffen. Dabei wird die maximale Spitzenleistung der einzelnen Erzeuger auf ca. 70 % der Anlagenleistung begrenzt. Somit konnten die Stadtwerke in den letzten Jahren auch eine Vielzahl an Kosten für Infrastrukturmaßnahmen einsparen.



Abbildung 49: Zukunftsszenario Green-Tech-Cluster, Quelle: Eigene Darstellung

Im Zuge der Investitionsmaßnahmen und des Baus des UW Stadt wurden auch verstärkt alte Kabelsysteme im urbanen Raum gegen neue Systeme getauscht, die direkt an das UW angeschlossen sind. Außerdem mussten aufgrund des Ausbaus der erneuerbaren Energien alte Kabelsysteme getauscht werden. Diese wurden auf Basis strategischer Entscheidungen gegen Kabelsysteme getauscht. Nicht substituierte Freileitungen wurden mit entsprechenden Schutzelementen ausgestattet, um diese im Fehlerfall auch selektiv abschalten zu können. Durch diese Maßnahme ist die Anzahl an Störereignissen nach Stürmen spürbar zurückgegangen und auch der Instandhaltungsaufwand konnte so reduziert werden.

Durch den Anschluss der Bahn steigt die maximale Last im Netz um rund 75 % auf etwa 23 MW. Trotz der gestiegenen Last wird mehr Energie in das Netz der Energie Steiermark gespeist als bezogen wird. Als weitere Abnehmer der Energie haben sich die Sektoren Wärme und Gas etabliert, mit einer Power-to-Heat-Anlage (1 MW) in Form einer Großwärmepumpe und einer Power-to-Gas-Pilotanlage (1,5 MW). Diese schaffen weitere Flexibilität im heimischen Netz, da die Anlagen ausschließlich kostengünstigen grünen Strom aus Windkraft und Photovoltaik beziehen. Die Effekte der Anlagen auf das Netz sind jedoch vernachlässigbar.

Auch im Jahr 2032 wurde den Stadtwerken im Monitoringbericht der E-Control wieder eine hohe Versorgungszuverlässigkeit zugeschrieben. Auch im Benchmarkingbericht werden die Stadtwerke trotz hoher Kosten, denen hohe Einnahmen an Netzgebühren gegenüberstehen, positiv erwähnt. Einen hohen Grad an Aufmerksamkeit erregte der Bericht von 2031 in der Fachpresse, als nach einem Fehler auf der 110-kV-Freileitung hin zum UW Stadt die Versorgung trotz des vermeintlichen Inselbetriebs aufrechterhalten werden konnte. Ausschlaggebend dafür waren die Anbindung an das Bahnnetz und die Netzstützung durch den modernen bidirektionalen 15-MW-Umrichter.

#### **9.4.4 Empfehlungen zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit in elektrischen Verteilnetzen**

#### **9.4.5 Szenarien Analyse**

Die Technologieportfolien unterscheiden sich deutlich in den unterschiedlichen Szenarien. Jedoch zeigte sich, dass einige der Technologien in allen drei Szenarien einen hohen Nutzen aufweisen. Für eine weiterführende Strategieentwicklung der Stadtwerke sollten daher die folgenden Technologien zur Erbringung eines netzdienlichen Verhaltens in den Fokus gestellt werden.

**Intelligente Ortsnetzstationen:** Die Funktionalitäten der intelligenten Ortsnetzstationen sind sehr vielfältig. Der ausschlaggebende Punkt war in allen Szenarien die Kommunikationsfähigkeit mit der Zentralen Leitstelle der Stadtwerke. Diese kann zur Übertragung von Smartmeter-Daten, diversen Messdaten, sowie zur Fernwirkung von Schaltanlagen genutzt werden. Stehen dem Netzbetreiber keine Möglichkeit zur Erfassung von Messdaten aus dem Verteilnetz (z.B. Smartmeter) zur Verfügung, sollten die Stationen unbedingt mit einem hochwertigen Monitoring System ausgestattet sein, welche umfangreiche Funktionen wie die Erfassung Oberschwingungsgehalt und der Unsymmetrien aufweisen. Der Bedarf von Investitionen in die Ausstattung der Stationen mit regelbaren Ortsnetztrafos muss auch frühzeitig identifiziert werden. Auch ist der vermehrte Einsatz von fernwirkbaren Anlagen zumindest an den relevanten Knotenpunkten zu evaluieren.

**Gridforming mittels Umrichter:** Da in allen drei Szenarien, die meiste Energieerzeugung von asynchronen Erzeugungsanlagen mittels Umrichter erfolgt, sind die Möglichkeiten dieser Technologie unter Einhaltung der TOR im vollen Umfang auszuschöpfen. An diesem Punkt ist mit Gridforming in erster Linie die Wirk- und Blindleistungsregelung, die Blindstromstützung, Frequenzhaltung und dynamische und statische Spannungshaltung gemeint. In Zukunft wird die Erbringung von virtueller Schwungmasse auch noch an Bedeutung gewinnen. Eventuell werden diese Möglichkeiten auch im Niederspannungsnetz an Bedeutung gewinnen und sich z.B. über den Einsatz von Rundsteuersignalen steuern lassen.

Weiters sollten in Zukunft folgende Technologien in Betracht gezogen und näher analysiert werden, wobei besonders die folgenden spezifischen Besonderheiten beachtet werden müssen.

**Negative Regelleistung:** Die negative Regelleistung hat sich im ersten Szenario als eine wesentliche Technologie zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit herausgestellt. In den anderen beiden Szenarien war der Nutzwert jedoch nicht so hoch, da die Übertragungskapazitäten zum vorgelagerten Netz ausreichend waren. Im Szenario 2 und 3 könnte sich eventuell die negative Regelleistung in Form eines dynamischen Energiemanagements als sehr dienlich erweisen. Bei diesem werden die Lasten abhängig vom Netzzustand abgeregelt. Der Nutzen eines solchen System sollte weiterführend untersucht werden.

**MV/DC-Übertragung:** Die Mittelspannungsgleichstromübertragung weist besonders im Szenario 2 und 3 einen hohen Nutzwert auf. Dies ist zurückzuführen auf den Ausbau bzw. das Repowering von leistungsintensiven Windkraftanlagen mit langen Kabelstrecken. Vor allem, da sich über die Umrichter unterschiedliche Systemdienstleistungen erbringen können. Außerdem haben diese Systeme im Vergleich zu langen Kabelsystemen keinen negativen Einfluss auf die Löschung und den Blindleistungsbedarf im Verteilnetz.

**Diagnostik von Freileitungen mittels Drohnen:** Obwohl diese Technologie bedingt durch das ausgedehnte Freileitungsnetz nur im Szenario 1 einen besonders hohen Nutzwert erzielen, sollte der Einsatz dieser Technologie angedacht werden, da sich Freileitungen auch in Zukunft nicht vollständig, bzw. nicht wirtschaftlich substituieren lassen. Daher sollte der Aufwand für die Anschaffung und Implementierung eines solchen Systems genauer untersucht werden.

**SCADA-System NSP:** Die Implementierung eines SCADA-Systems auf der Niederspannungsebene kann sinnvoll sein, da alle drei Szenarien zeigen, dass die Last und Erzeugungsverhältnisse auf der Niederspannung viel flotativer werden. Damit wird auch der Bedarf an Messsystemen, welches sich im SCADA-System abbilden lassen an Gewicht bekommen. Zudem wird der Netzbetrieb mit dem Trend der Digitalisierung zunehmend aus der Ferne stattfinden, sowie die digitale Abbildung der Schaltzustände an Relevanz gewinnen. Die Zukunftsbilder haben zudem gezeigt, dass ein zunehmendes Eingreifen in die Netze durch Regelsysteme (Trafos, negative Regelleistung, Lastmanagement). Durch die mögliche Implementierung eines dezentralen Netzautomatisierungssystems, das all diese Systeme abbildet und regelt, könnte gegebenenfalls die Netzführung erleichtert und Grenzwertverletzungen verhindert.

**Digital Twin:** Mit der weiteren Digitalisierung der Netze, können in Zukunft Simulationen viel genauer auf Basis aktueller Messdaten erfolgen. Dafür benötigte es aber einen digitalen Zwilling des Netzes, welcher mit den entsprechenden Daten gefüttert werden kann. Diese Simulationen werden für zukünftige Netzausbauten und zur Identifikation freier Kapazitäten eventuell an Bedeutung gewinnen. Es ist deshalb



darauf zu achten, wie sich der Bedarf eines solchen Systems, der aktuell noch nicht so stark vorhanden ist, in Zukunft entwickelt. Auf Basis des bestehenden digitalen Netzmodell, kann die Implementierung eines vollständigen digitalen Zwillings viel einfacher erfolgen, da schon eine umfangreiche Datenbasis vorhanden ist.

**Monitoring mittels Smartmeter:** Die Nutzung eines Energie- oder sogar Spannungsqualitätsmonitoring hat sich nur im Szenario 3, in welchem die nötigen gesetzlichen Grundlagen vorhanden waren als wirklich dienlich erwiesen. Vor allem da in diesem Szenario die Datenschutzrichtlinien gelockert und der Abruf von Echtzeitdaten möglich war. Die Evaluierung solcher Systeme könnte im Zuge eines Pilotprojektes erfolgen. Alternativ kann in Zukunft auch verstärkt Nutzung bzw. Auswertung der Lastdaten erfolgen. Solche Systeme müssen eventuell auch nicht bei allen Netzkunden implementiert werden. Durch die Wahl strategischer Anschlusspunkte, könnten eventuell schon verlässliche Aussagen über die Spannungsqualität in den einzelnen Netzabschnitten gegeben werden.

**Lastmanagement mittels Rundsteuersignalen:** Der Kooperationspartner hat bereits intensive Erfahrung im Lastmanagement mittels Rundsteuersignalen was Elektroheizungen und Boiler betrifft. Zum Einsatz könnte diese Technologie entsprechend Szenario 3 in Zukunft vermehrt auch für Wärmepumpen und E-Ladestationen kommen. Die Implementierung wäre für die Stadtwerke relativ einfach, nur Bedarf es noch entsprechender Anreize bzw. regulatoriver Vorgaben für die Kunden.

**Regenerative Brennstoffzelle:** Der Einsatz von großen netzseitigen Speichern kann relevante Flexibilitäten für das Netz bereitstellen. So hat die Technologie besonders im Szenario 2 einen hohen Nutzwert erzielt. Hinsichtlich der Technologieattraktivität konnte diese Technologie auch im Szenario 1 einen hohen Wert erzielen. Im weiteren Zuge sollte daher die Wirtschaftlichkeit dieser Technologie genauer untersucht werden.

#### **9.4.6 Allgemeine Empfehlungen**

Die folgenden allgemeinen Empfehlungen leiten sich auf Basis der im Theorie- und Praxisteil gewonnen Erkenntnisse ab und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. An dieser Stelle sei noch einmal auf die langen Vorlaufzeiten und Investitionskosten in der Energiewirtschaft hingewiesen. Die Realisierung vieler der unten aufgelisteten Empfehlungen sind entsprechend aufwendig und deren Umsetzung benötigt mehrerer Jahre oder sogar Jahrzehnte (Bsp. Ausbau der Netzkapazitäten). Die vorliegenden Empfehlungen können neben dem in der vorliegenden Arbeit entwickelten Prozess, die Grundlage für die strategische Orientierung von Energieversorgungsunternehmen bilden.

**Digitalisierung der Netze:** Die Netze der Zukunft sind Digital. Angefangen mit Messsystem auf allen Spannungsebenen und Netzknoten. Dabei wird in Zukunft neben dem klassischen Energiemonitoring auch die Spannungsqualitätsmessung an Relevanz gewinnen. Daneben werden die Messsysteme und elektrischen Anlagen (Schaltzustände, Anlagenzustand, Temperatur, etc.) in Zukunft zunehmend mit dem Leitsystem der Energieversorger verbunden sein, dafür bedarf es einer geeigneten Kommunikationsinfrastruktur in Form von LWL oder in entlegenen Regionen als GSM sowie Mobilfunknetze wie beispielhaft CDMA (Code Division Multiple Access). Die Digitalisierung spielt in Zukunft eine wichtige Rolle, um die Netze Zukunftsfit zu machen und Trends wie die „Nutzung regenerativer Energiequellen“, Dezentralisierung, die Sektorkopplung, die Flexibilisierung, die Elektrifizierung des

Verkehrs, neue Geschäftsmodelle oder auch die zunehmenden Regularien zu beherrschen. Die Digitalisierung ist zudem essenziell für die Zunehmende Automatisierung der Netze durch dezentrale Netzautomatisierungssysteme oder mittels KI.

**Netzsimulationen:** Anhand der Ergebnisse der Szenarien wurde deutlich, dass nicht zwingend ein vollständiger Digital Twin des Netzes vorhanden sein muss. Insbesondere für die Integration volatiler Energieerzeuger oder leistungsintensiver Lasten wie Wallboxen und Wärmepumpen, aber auch zur Erkenntlichmachung freier Kapazitäten oder von Engpässen sind zumindest grundlegende Netzsimulationen unerlässlich. Dafür muss der Grad der Genauigkeit des abgebildeten Netzes und seiner Erzeuger und Lasten nicht der Qualität eines Digital Twins entsprechen. Für die moderne Netzplanung sind Netzsimulationen jedoch unerlässlich.

**Fernwirk:** Für die Digitalisierung der Netze bedarf es auch einer Möglichkeit zur Integration der Daten in eine Fernwirkanlage zur Fernüberwachung. Daneben wird in Zukunft auch die Bedeutung der Fernsteuerung zunehmen. Aufgrund der Fernsteuerung wird der Netzbetrieb vereinfacht und im Fall von Netzfehlern können Schalthandlungen aus der Ferne wesentlich schneller durchgeführt werden als durch Personal vor Ort. Die Aufgaben der Fernüberwachung und -steuerung erfüllt dabei die Fernwirkanlage, die auch in das SCADA-System integriert werden kann. Insbesondere in Bezug auf die Fernsteuerung bedarf es geeigneter fernwirkbarer Anlagen, die entsprechend kostspielig sind. Es ist daher nicht zwingend notwendig, alle Netzknoten fernsteuerbar auszuführen, vielmehr sollte der Fokus auf relevante Netzknoten gelegt werden.

**Netzdienstliches Verhalten von Umrichter:** Wegen der Zunahme von Leistungselektronik in den Netzen müssen die Stärken dieser Technologie genutzt werden. So können Umrichter einen bedeutenden Beitrag zur statischen und dynamischen Netzstabilität liefern und diverse Systemdienstleistungen wie die Blindleistungsregelung erbringen. Energieversorgungsunternehmen sind daher angehalten, die gemäß den TOR offenstehenden Möglichkeiten zur Integration von Erzeugungs- und Verbraucheranlagen in den Netzverträgen zu verankern und die Umsetzung dieser Vorgaben auch zu überwachen.

**Blindleistungsmanagement:** Mit der zunehmenden Integration dezentraler Einspeiser, muss auch ein entsprechendes Management des Austausches von Blindleistung zwischen den Erzeugern und dem Netz stattfinden. Dabei können dem Netzkunden in Form des statischen Blindleistungsmanagements ein Leistungsfaktor ( $\cos \varphi$ ) vorgeschrieben werden. Alternativ kann mittels dynamischen Blindleistungsmanagements der Leistungsfaktor variable angepasst werden. Dafür wird jedoch ein Fernzugriff auf die Anlage benötigt.

**Einspeisemanagement:** Mit der zunehmenden Volatilität in den Verteilnetzen steigt auch der Bedarf Einspeisespitzen durch erneuerbare Energien zu reduzieren. Dafür kann einerseits das statische Einspeisemanagement eingesetzt werden, bei dem gemäß Szenario 3 der Spitzenerzeugung von PV-Anlagen begrenzt wird.<sup>289</sup> Somit werden Lastspitzen verhindern, sondern auch Anreize zur

---

<sup>289</sup> Eine Untersuchung der Universität Wuppertal und der Siemens AG hat ergeben, das bei einer Abregelung der Spitzenleistung von PV-Anlagen um 59 % und von Windkraftanlagen um 80 % lediglich 3 % der jährlichen Energieerzeugung verloren gehen. Quelle: Zdrallek (2016), S. 56



Implementierung von Speicherlösungen geschaffen. Für größerer Anlagen kann gemäß Szenario 1 auch ein dynamisches Einspeisemanagement eingesetzt werden, bei dem die Wirkleistung der Erzeugungsanlagen abhängig vom Netzzustand reduziert wird.

**Konventionelle vs. innovative Planung:** In den Szenarien wurde die Anwendung mehrere innovative Technologien wie beispielsweise regelbare Trafos, Gridforming, Speichersysteme oder das Blindleistungs- u. Einspeisemanagement exploriert. Durch den Einsatz dieser Technologien kann die Versorgungssicherheit verbessert werden. Zudem hat sich gezeigt, dass der Einsatz entsprechender Technologien den Aufwand und die Kosten für Netzausbaumaßnahmen reduzieren kann. Für die zukünftige Netzplanung müssen daher entsprechende innovative Maßnahmen dem konventionellen Netzausbau gegenübergestellt werden.<sup>290</sup>

**Management von Regularien:** Energieversorgungsunternehmen sind in einem komplexen technischen und wirtschaftlichen Umfeld tätig, in dem diverse Stakeholder vorhanden sind. Um in diesem Umfeld zu agieren, bedarf es eines komplexen Regelwerks. Anhand des Trends der Zunahme an Regularien wurde aufgezeigt, dass in Zukunft der Umfang und die Komplexität der Regularien noch zunehmen werden. Daher ist das Management dieser Regularien für ein EVU unerlässlich, im Idealfall durch die Implementierung einer zentralen Stelle, in der das Know-how gebündelt wird.

**Erhöhung der Netzkapazitäten:** Im österreichischen Übertragungsnetz ist noch eine Vielzahl an Lücken vorhanden, was ein wesentlicher Grund für die Zunahme an Redispatch-Maßnahmen ist. Diese Lücke zieht sich durch alle Spannungsebenen und wird mit dem Trend der Dezentralisierung auch in hohem Maß die Verteilnetze betreffen. Daher müssen die Netzkapazitäten erhöht werden. Dies kann durch den Ausbau der Netze, aber auch durch die Erhöhung der Spannungsebene erreicht werden, beispielsweise durch den frühzeitigen Einsatz von 20-kV-Komponenten in den insbesondere in der Steiermark noch verbreiteten 5-kV- und 10-kV-Netzen, um so die Netzspannung sukzessiv zu erhöhen.

**Erhöhung des Vermaschungsgrades:** Gibt es mehr Netzmaschen, bestehen auch mehr Umschaltmöglichkeiten. So können fehlerbehaftete Netzabschnitte selektiver abgeschaltet werden. Ausgehend von den Ballungsräumen sollten die Maschen kleiner gemacht werden. Im ländlichen Bereich und vor allem in der mit Tälern durchzogenen Steiermark ist die Erhöhung des Vermaschungsgrades jedoch schwierig. Hier sollte der Fokus auf eine selektive Abschaltung gelegt werden.

**Selektivität:** Eine selektive Abschaltung ist unerlässlich, um Fehler einzugrenzen und großflächige Störungen zu verhindern. Daher sollten zumindest relevante Netzknoten mit entsprechenden Schutzorganen (Sicherungen, Leistungsschalter und Schutzgerät) ausgestattet sein. Neben der Implementierung der jeweiligen Primär- und Sekundärtechnik bedarf es auch eines umfangreichen Schutzkonzepts für das Netzgebiet.

**Verstärkung der Anbindung an höhere Spannungsebenen:** Durch die Verstärkung der Anbindung an höhere Spannungsebenen mit dem Bau oder der Verstärkung von Umspannwerken ist es möglich, die

---

<sup>290</sup> Eine Untersuchung der Universität Wuppertal und der Siemens AG hat bereits die finanziellen Vorteile (welche bei über 60 % liegen) von innovativen Netzausbaumaßnahmen untersucht. Quelle: Zdrallek (2016), S. 99-100, 125-126

Versorgungssicherheit nachhaltig zu verbessern. So kann der Energieaustausch insbesondere wegen der zunehmenden Dezentralisierung besser kontrolliert werden. Eine starke Anbindung an leistungsfähigere Netzebenen erhöht auch die Resilienz gegenüber Problemen in den unteren Spannungsebenen. So kann durch die Erhöhung der Kurzschlussleistung die Spannungsqualität verbessert werden.

**Schaffung von Flexibilitäten:** Mit der zunehmenden Volatilität in den Verteilnetzen steigt auch der Bedarf an Flexibilitäten. Die Flexibilitäten können in Form von Systemdienstleistungen, Energiespeichern, des Einsatzes regelbarer Ortsnetztrafos und Sektorkopplung geschaffen werden. Darüber hinaus werden auch durch den klassischen Netzausbau Flexibilitäten geschaffen. Die Energieversorgungsunternehmen müssen in Zukunft aktiv zur Schaffung dieser Flexibilitäten beitragen, um eine Überlastung der Netze zu verhindern.

**Erhöhung des Verkabelungsgrades:** Eine der wesentlichen Maßnahmen zur Verbesserung der Versorgungssicherheit ist mit den Leitungen „von über der Erde unter die Erde“ (**EXP08**), also der Ausbau von Erdkabeln. Diese haben vor allem den Vorteil, dass sie weniger anfällig gegenüber Umwelteinflüssen sind. Auch ist der Instandhaltungsaufwand geringer als jener von Freileitungen. Nachteile sind jedoch die höheren Kosten und die Tatsache, dass die Fehlerbehebung teilweise aufwändig sein kann, da die Fehlerstelle schwieriger zu identifizieren ist und erst freigelegt werden muss.

**Dezentrale Löschung:** Mit dem zunehmenden Einsatz von Kabeln anstelle von Freileitungen nimmt auch die Kapazität der Netze zu. Da in der Steiermark nahezu alle Netzbetreiber das Konzept der gelöschten Netze verfolgen, wird die Löschgrenze mit der steigenden Netzkapazität zunehmend erreicht. Mit dem Netzausbau, insbesondere in Folge der Integration großer dezentraler Strukturen wie Windparks, sollte speziell auf den Bedarf dezentraler Löschspulen geachtet werden. Eine Überschreitung der Löschgrenze kann aufgrund der hohen Ströme und des Lichtbogens an der Fehlerstelle schwerwiegende Folgen für die Betriebsmittel im Netz, aber auch für die Personensicherheit nach sich ziehen.

**(n-1)-Sicherheit:** Eines der grundlegenden Prinzipien der Netzplanung ist die (n-1)-Sicherheit, gemäß der der Ausfall eines Betriebsmittels (Leitung, Trafo etc.) aufgrund von Redundanzen zu keinem Systemausfall führt. An dieser Stelle soll noch einmal die hohe Bedeutung der Einhaltung dieses fundamentalen Planungsprinzips erwähnt werden.

**Netzwiederaufbaupläne:** Die Erstellung eines Netzwiederaufbauplans sollte auch durch die in der Steiermark traditionell entstandenen Betreiber kleinerer Verteilnetze durchgeführt werden. Im Falle eines lokalen Netzausfalls oder eines flächendeckenden Stromausfalls besteht eine starke Abhängigkeit von den vorgelagerten Netzen und höheren Spannungsebenen. Der Netzwiederaufbau wird den kleinen Netzeinheiten nur im Netzverbund gelingen. Die Anstrengungen sollten vor allem von den kleineren Netzbetreibern in die Koordination und Abstimmung sowie in Konzepte zur Wiederschaltung bzw. Wiederinbetriebnahme investiert werden.

## 10 RESÜMEE

Im Theorieteil der vorliegenden Arbeit wurden wesentliche Erkenntnisse für die Erarbeitung eines szenarienbasierten Technologiefrüherkennungs- und Technologiebewertungsprozess geschaffen. Diese Erkenntnisse beinhaltet die Grundlagen der Elektrizitätswirtschaft, die Aufschlüsselung des Begriffs der Versorgungssicherheit, die Beschreibung der Technologien der Versorgungssicherheit und die 19 identifizierten Trends, die hinsichtlich der Elektrizitätswirtschaft bestehen. Auf Basis der Grundlagen des Technologiemanagements und des strategischen Foresights soll ein eigens auf die Bedürfnisse der Akteure in der Elektrizitätswirtschaft angepasster Prozess erarbeitet werden. Der Prozess kann dabei im Wesentlichen in vier Phasen unterteilt werden, welche an dieser Stelle noch einmal erörtert werden.

In Phase 1 konnte mit den Experteninterviews eine Vielzahl der im Theorieteil identifizierten Technologien und Trends bestätigt werden. Zudem konnten in den Interviews zahlreiche bedeutende Erkenntnisse gewonnen werden, die in der Literaturrecherche nicht hätten ermittelt werden können, obwohl diese umfangreich angelegt war. Mit der weiteren Auswertung der Interviews in Form von Trendstreckbriefen und Technologien gemäß den Elementen der Versorgungssicherheit wurde eine Zusammenfassung der Erkenntnisse der Phase 1 erstellt. Weiters kann das der Arbeit beigefügte Technologieglossar als Nachschlagewerk genutzt werden.

In Phase 2 konnte vor allem der Einfluss der identifizierten Trends auf die Branche wissenschaftlich nachgewiesen werden. Interessanterweise zeigte sich auch, dass sämtliche Trends bis auf jenen der steigenden Strompreise als sicher hinsichtlich der Trendprojektion eingeschätzt werden. Dies könnte auf die heikle geo- und energiepolitische Lage zum Zeitpunkt der Umfrage (März und April 2022) zurückzuführen sein. Die Einschätzung des Technologiereifegrades stellte einen wesentlichen Schritt zur Technologiebewertung dar. An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass die Umfrage mit zwanzig Teilnehmern und wegen der bereits durch den Autor vorgenommenen Vorselektierung der Technologien (siehe Tabelle 19) nicht dem höchsten wissenschaftlichen Standard genügt. Durch sie wurde jedoch eine ausreichend präzise Beurteilung für die weitere Arbeit generiert.

Somit konnten in den ersten beiden Phasen die wesentlichen Inhalte des Workshops erarbeitet werden. Es hat sich gezeigt, dass der Workshop einer umfangreichen Vorbereitung durch den Workshopleiter bedurfte, vor allem, da sich der Leiter aufgrund der Komplexität der Thematik umfangreiches Wissen über das Unternehmen aneignen musste. In der Vorbereitungsphase sollten insbesondere Insights hinsichtlich des Unternehmens generiert werden. Diese konnten im Zuge eines Interviews gewonnen werden. Zudem setzte sich der Autor bereits beruflich mit dem Unternehmen auseinander. Ob die Qualität der Ergebnisse ohne Vorwissen des Workshopleiter über das Unternehmen selbst vermutlich leiden würde, kann an dieser Stelle nicht fundiert bewiesen werden. Es wäre jedoch vorteilhaft, den Prozess um eine Methodik zur Generierung von Insights zu ergänzen, z. B. durch gezielte Interviews, Netzanalysen oder Netzberechnungen des betrachteten Energieversorgungsunternehmens. Auch bedurfte der Workshop einer langen Vorbereitungszeit durch die Teilnehmer, da sich diese mit den Themen, insbesondere den Trends und Technologien, schon vorab beschäftigen sollten. In weiterer Folge kann mit der Erstellung eines Leitfadens die Vorbereitung erleichtert werden.

Der Workshop selbst lieferte aus Sicht des Kooperationspartners interessante und brauchbare Ergebnisse. Die SWOT-Analyse hat sich dabei als wirkungsvolles Tool zur Identifizierung von Zukunftselementen herausgestellt. Nur die Nutzwertanalyse erwies sich als in hohem Maß zeitaufwändige Methodik, deren Anwendung für weitere Workshops hinterfragt werden sollte.

Aufbauend auf den Ergebnissen des Workshops konnten in der dritten Phase des Prozesses drei diverse und komplexe Zukunftsbilder generiert werden. Auf Basis der Technologieportfolien zeigte sich, dass in jedem Szenario auch der Einsatz der verschiedenen Technologien unterschiedlich ausfällt. Durch die erzählerische und bildliche Kommunikation der Konzepte wird die Kreativität des Lesers angeregt und die Leserschaft wird so dazu gebracht, mit den bestehenden Denkmustern zu brechen. Zudem konnten durch die Analyse der drei Szenarien konkrete Handlungsempfehlungen für den Kooperationspartner abgeleitet werden. Die Empfehlungen können für die weitere Erarbeitung von Innovationsstrategien genutzt werden. Die vorliegende Arbeit und insbesondere der erarbeitete szenarienbasierte Technologiefrüherkennungs- und -bewertungsprozess werden damit der Zuordnung zum Fachgebiet des Innovationsmanagements gerecht.

Darüber hinaus konnten im Verlauf der Arbeit auch relevante Erkenntnisse über das Fachgebiet der Energiewirtschaft und der elektrischen Energietechnik gewonnen werden. Diese Erkenntnisse spiegeln sich einerseits in Form von Trends, und andererseits in Form konkreter Technologien der Versorgungssicherheit wieder. Abschließend wurden konkrete Handlungsempfehlungen für Energieversorgungsunternehmen formuliert, die zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit beitragen können. Das Wort ‚Sicherstellung‘ könnte auch durch den Begriff ‚Aufrechterhaltung‘ ersetzt werden, denn das Niveau der Versorgungsqualität und der Versorgungssicherung ist in Österreich hoch. Dennoch ist die Branche mit aktuellen Entwicklungen konfrontiert, die in dieser Arbeit als Trends beschrieben wurden und erhebliche Umbrüche zur Folge haben werden. Um diesen Umbrüchen angemessen begegnen zu können, müssen sich Energieversorger so schnell wie möglich auf aktuell absehbare Entwicklungen vorbereiten, denn aufgrund der langen Vorlaufzeiten und die hohen Investitionskosten sind kurzfristiges Handeln und der kurzfristige Rollout neuer Technologien nahezu unmöglich. Es bedarf daher strategischen und zielorientierten Handelns und der Zugänglichkeit für neue Technologien in einer Branche, die durch lange Innovationszyklen gekennzeichnet ist.

***„Treu dem guten Alten, aber darum nicht minder empfänglich für das gute Neue.“***

*– Erherzog Johann von Österreich*

## LITERATURVERZEICHNIS

### Gedruckte Quellen

Adams, William C. (2010): *Conducting Semi-Structured Interviews*, in Handbook of practical program evaluation, *Essential texts for nonprofit and public leadership and management*, 3. Auflage, Jossey-Bass, San Francisco

Agora Verkehrswende, Agora Energiewende, Regulatory Assistance Project (RAP) (2019): *Verteilnetzausbau für die Energiewende*, Agora Verkehrswende, Agora Energiewende

Albrecht, Paul; Argent, Steve J.; Baxter, Peter; Harpur, Anthony; Heising, Charles; Huo, Michelle et al. (1987): *Power System Reliability Analysis Application Guide*, CIGRE WG 03 of SC 38 (Power system analysis and techniques) - 1987, CIGRÈ, Paris

Álvarez, Asunción; Ritchey, Tom (2015): *Applications of general morphological analysis*, in: *Acta Morphologica Generalis*, Heft 1/2015, S. 1 – 40

Ausfelder et al. (Hrsg.) (2017): *Sektorkopplung - Untersuchungen und Überlegungen zur Entwicklung eines integrierten Energiesystems*, Schriftenreihe Energiesystem der Zukunft, München

Austrian Power Grid (APG); Vorarlberger Übertragungsnetz (VÜN) (2021): *Netzentwicklungsplan 2021: Konsultationsversion Planungsstand Juni 2021*, Austrian Power Grid AG, Vorarlberger Übertragungsnetz GmbH, Wien

Austrian Powergrid AG; Vorarlberger Übertragungsnetz GmbH (2021): *Netzentwicklungsplan 2021: Szenarien für die Netzausbauplanung*, Austrian Power Grid AG, Vorarlberger Übertragungsnetz GmbH, Wien

Bachhiesl, Udo (2004): *Erfolgreiche Energieinnovationsprozesse*, Dissertation, Technische Universität Graz, Graz

Bäck, Elisabeth; Melmuka, Angelika; Ploiner, Christoph; Siamder, Günter; Thenius, Gregor (2020): *Stand der Umsetzung des Bundes-Energieeffizienzgesetzes (EEffG) in Österreich*, Austrian Energy Agency: Österreichische Energieagentur, Wien

Baumann, Martin; Egger, Lukas; Holzmann, Angela; Kalt, Gerald; Pauritsch, Günter (2016): *Energieszenario für Österreich*, Austrian Energy Agency, Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft, Wien

BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (2017): *Digitalisierung aus Kundensicht*, BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., Berlin

BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2016): *Energievertrieb 2030: Digital, Dezentral, Flexibel - Der Kunde im Mittelpunkt*, BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., Berlin

- BDWE Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2016): *Die digitale Energiewirtschaft: Agenda für Unternehmen und Politik*, BDWE Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., Berlin
- BDWE Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2017): *10 Thesen zur Sektorkopplung*, BDWE Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., Berlin
- BGBI. I Nr. 110/2010 (2010): *Elektrizitätswirtschaft- und Organisationsgesetz - ELWOG*
- BGBI. I Nr. 68/2020 (2020): *Bundesgesetz über die Steigerung der Energieeffizienz bei Unternehmen und dem Bund (Bundes-Energieeffizienzgesetz - EEEffG)*
- BGBI. III Nr. 197/2016 (2016): *Übereinkommen von Paris*
- Binder, Volker A.; Kantowsky, Jan (1996): *Technologiepotentiale. Neuausrichtung der Gestaltungsfelder des Strategischen Technologiemanagements*, Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden
- Bp energy economics (2018): *BP Energy Outlook 2018*, BP p.l.c.
- Brauner, Günther (2016): *Energiesysteme: Strategien für die Energiewende*, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden
- Brauner, Günther (2018): *Hochspannungs-Gleichstromübertragungen als Verbindung in Übertragungsnetzen*, in ETG Journal, S. 60–69
- Brockmann, Kathrin; Brösamle, Klaus; Buehler, Ingemar Friedrich; Döhrn, Julia; Freunding, Beate; Fricke, Julian et al. (2013): *Denken auf Vorrat - Strategische Vorausschau macht Deutschland fit für die Zukunft*, Stiftung neue Verantwortung e.V.
- Bründlinger, Thomas; König, Julian Elizalde; Frank, Oliver; Gründig, Dietmar; Jugel, Christoph; Kraft, Patrizia et al. (2018): *dena-Leitstudie Integrierte Energiewende: Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050*, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Berlin
- Bullinger, Hans-Jörg (1994): *Einführung in das Technologiemanagement. Modelle, Methoden, Praxisbeispiele, Technologiemanagement - Wettbewerbsfähige Technologieentwicklung und Arbeitsgestaltung*, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2021): *Umsetzungsplan für Deutschland nach Art. 20 Strombinnenmarktverordnung (BMVO) ("Marktreformplan")*, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin
- Bundesministerium - Nachhaltigkeit und Tourismus, Bundesministerium - Verkehr, Innovation und Technologie (2018): *#mission2030: Die österreichische Klima- und Energiestrategie*, Bundesministerium - Nachhaltigkeit und Tourismus, Bundesministerium - Verkehr, Innovation und Technologie, Wien
- Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2020): *Energie in Österreich*, Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Wien
- Cichowski, Rolf Rüdiger (2012): *Kabelhandbuch*, 8. Auflage, EW Medien und Kongresse, Frankfurt am Main

- Crastan, Valentin; Westermann, Dirk (2018): *Elektrische Energieversorgung 3. Dynamik, Regelung und Stabilität, Versorgungsqualität, Netzplanung, Betriebsplanung und -führung, Leit- und Informationstechnik, FACTS, HGÜ*, 2. Auflage, Springer Vieweg, Berlin
- Cuhls, Kerstin (2011): *Schnittstelle von Foresight und Innovationsmanagement*, in: Victor Tiberius (Hrsg.): *Zukunftsorientierung in der Betriebswirtschaftslehre*, Gabler Verlag, Wiesbaden
- Deloitte (2015): *Der österreichische Energiekunde 2020*, Deloitte Österreich, Wien
- Deutsche Energie-Agentur GmbH (2019): *Definitionen und Abgrenzungen - Elemente der Versorgungssicherheit und -zuverlässigkeit*, Deutsche Energie-Agentur GmbH
- Dreher, Alexander; Schitteck, Walter; Poppinga, Thomas; Schuldt, Frank; Uhrig, Martin; Umbach, Johannes et al. (2020): *Forschungsroadmap Systemdienstleistungen*, Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich
- Duncker, Christian; Schütte, Lisa (2017): *Trendbasiertes Innovationsmanagement: Ein Modell für markenbasiertes Produktmanagement*, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden
- E-Bridge (2017): *Sichere und effiziente Koordinierung von Flexibilitäten im Verteilnetz: Beitrag zur Ausgestaltung der Rolle des Verteilnetzbetreibers in der Energiewende*, E-Bridge Consulting GmbH, Bonn
- E-Control (2017): *Technische und organisatorische Regeln für Betreiber und Benutzer von Netzen: Teil A: Allgemeines, Begriffsbestimmungen*, Energie-Control Austria für die Regulierung der Elektrizitäts- und Erdgaswirtschaft (E-Control), Wien
- E-Control (2019): *Ausfall- und Störungsstatistik für Österreich 2020*, Energie-Control Austria für die Regulierung der Elektrizitäts- und Erdgaswirtschaft (E-Control), Wien
- E-Control (2020): *Tätigkeitsbericht 2020 - Unsere Energie gestaltet Wege*, Energie-Control Austria für die Regulierung der Elektrizitäts- und Erdgaswirtschaft (E-Control), Wien
- E-Control (2022): *Technische und organisatorische Regeln für Betreiber und Benutzer von Netzen: Anschluss und Parallelbetrieb von Stromerzeugungsanlagen des Typs B*, Energie-Control Austria für die Regulierung der Elektrizitäts- und Erdgaswirtschaft (E-Control), Wien
- Ernst & Young GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (2021): *Zusammen in die Zukunft. Stadtwerkstudie 2021*, Ernst & Young GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft
- Europäischer Rechnungshof (2019): *Wind- und Solarenergie für die Stromerzeugung*, Europäischer Rechnungshof, Luxemburg
- European Commission (2016): *Identification of Appropriate Generation and System Adequacy Standards for the Internal Electricity Market*, European Commission Directorate - General for Energy, Brüssel
- Fasthuber, Dominik (2019): *Auswirkungen und Potentiale der Integration von Elektromobilität in das elektrische Energiesystem Österreichs*, Technische Universität Wien, Wien
- Fink, Alexander; Schlake, Oliver; Siebe, Andreas (2002): *Erfolg durch Szenario-Management. Prinzip und Werkzeuge der strategischen Vorausschau*. 2. Auflage, Campus-Verlag, Frankfurt/Main

- Gerhardt, Norman; Sandau, Fabian; Scholz, Angela; Hahn, Henning (2015): *Interaktion EE-Strom, Wärme und Verkehr: Analyse der Interaktion zwischen den Sektoren Strom, Wärme/Kälte und Verkehr in Deutschland in Hinblick auf steigende Anteile fluktuierender Erneuerbarer Energien im Strombereich unter Berücksichtigung der europäischen Entwicklung*, Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (Fraunhofer IWES), Würzburg
- Gerpott, Torsten J. (2005): *Strategisches Technologie- und Innovationsmanagement*, Sammlung Poeschel, 2. Auflage, Schäffer-Poeschel, Stuttgart (Sammlung Poeschel)
- Geschka, Horst (1995): *Methoden der Technologiefürhauflklärung und der Technologievorhersage*, in: Erich Zahn: *Handbuch Technologiemanagement*, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart
- Gochermann, Josef (2020): *Technologiemanagement*, Springer Gabler, Wiesbaden
- Gutschik, Reinhold; Horvath, Patrick; Weinzierl, Rupert (2006): *Kosten und Konsequenzen der Verhinderung und Verzögerung von Infrastrukturprojekten in Österreich von 1976-2006: Forschungsprojekt zum Projekt Nr. 11.389 des Jubiläumsfonds der Oesterreichischen Nationalbank*, WIWIPOL (Arbeitsgemeinschaft für wissenschaftliche Wirtschaftspolitik), Wien
- Gutschik, Reinhold; Horvath, Patrick; Weinzierl, Rupert (2007): *Konflikte um Infrastrukturprojekte in Österreich: Erkenntnisse für Politik und Gesellschaft*, in: SWS-Rundschau, 47.Jg., Heft 2, S. 218-242
- Hecker, Werner; Lau, Carsten; Müller, Arno (2015): *Zukunftsorientierte Unternehmenssteuerung in der Energiewirtschaft*, Springer Gabler, Wiesbaden
- Heuck, Klaus; Dettmann, Klaus-Dieter; Schulz, Detlef (2013): *Elektrische Energieversorgung. Erzeugung, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie für Studium und Praxis*, 9. Auflage, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden
- Herwig Renner; Manfred Sakulin (2008): *Spannungsqualität und Versorgungszuverlässigkeit*, Technische Universität Graz, Graz
- Horst, Juri; Guss, Hermann; Klann, Uwe; Kochems, Johannes; Luxenburger, Martin; Weber, Andreas (2016): *Versorgungssicherheit auf dem Weg zu 60% Erneuerbaren Energien am Stromverbrauch: eine aktorsbezogene Analyse* Institut für ZukunftsEnergieSysteme, Saarbrücken
- Horst Geschka; Martina Schwarz-Geschka (2012): *Einführung in die Szenariotechnik*, Geschka & Partner Unternehmensberatung, Darmstadt
- Horst Geschka; Richard Hammer (1990): *Die Szenario-Technik in der strategischen Unternehmensplanung*, in: Dietger Hahn; Bernard Taylor (Hrsg.): *Strategische Unternehmensplanung. Fünfte, neu bearbeitete und erweiterte Auflage*, Physica-Verlag HD, Heidelberg
- Horx, Matthias (2015): *Zukunftsreport 2016*, Zukunftsinstitut
- Horx Matthias (2010): *Das kleine Wörterbuch der Trend- und Zukunftsforschung. Trendforschung: Die Märkte von morgen entdecken*, Bergisches Institut für Produktentwicklung und Innovationsmanagement, Solingen
- Huber, Christoph (2010): *Zukünftige Rahmenbedingungen der europäischen Wasserkraftwirtschaft*, Dissertation, Technische Universität Graz, Graz



- Huener, Uli; Bez, Michael (2015): *Erneuerbare Energien als Grundlage für Prosumer-Modelle*, in: *Marketing Erneuerbarer Energien*, Springer Gabler, Wiesbaden
- Hütter, Daniel (2014): *Kapazitätsmärkte unter den Aspekten der Versorgungssicherheit und der Entwicklung der Erzeugungskosten*, Technische Universität Graz, Graz
- John C. Mankins (1995): *Technology Readiness Levels: A White Paper*, Advanced Concepts Office, Office of Space Access and Technology (NASA)
- Kasikci, Ismail (2015): *Planung von Elektroanlagen. Theorie, Vorschriften, Praxis*, 2. Auflage, Springer Vieweg, Berlin/Heidelberg
- Kerth, Klaus; Asum, Heiko (2015): *Die besten Strategietools in der Praxis. Welche Werkzeuge brauche ich wann? Wie wende ich sie an? Wo liegen die Grenzen?*, 6. Auflage, Hanser, München
- Kind, Sonja; Kerlen, Christiane; Wangler, Leo; Wessels, Jan (2018): *Technologiereifegrade zur Ermittlung von Fortschritten in FuE-Projekten*, Jahrestagung der DeGEval, Dresden
- Klaus, Burmeister; Andreas, Neff; Bernhard, Albert; Holger, Glockner (2002): *Zukunftsforschung und Unternehmen. Praxis, Methoden, Perspektiven*, Z-Punkt GmbH, Essen
- Komarnicki, Przemyslaw; Kranhold, Michael; Styczynski, Zbigniew A. (2021): *Sektorenkopplung: Energetisch-nachhaltige Wirtschaft der Zukunft: Grundlagen, Modell und Planungsbeispiel eines Gesamtenergiesystems (GES)*, Springer Wiesbaden, Wiesbaden
- Küchler, Andreas (2004): *Hochspannungstechnik: Grundlagen - Technologie - Anwendungen*, 2. Auflage, Springer, Berlin
- LGBl. Nr. 70/2005 (2022): *Steiermärksches Elektrizitätswirtschafts- und Organisationsgesetz - StELWOG*
- Lichtenthaler, Eckhard (2004): *Technology intelligence processes in leading European and North American multinationals*, in: R&D Management Bd. 34, S. 121-135
- Little, Arthur D. (1988): *Innovation als Führungsaufgabe*, Campus-Verlag, Frankfurt
- Macharzina, Klaus; Wolf, Joachim (2018): *Unternehmensführung: Das internationale Managementwissen Konzepte - Methoden - Praxis*, 10. Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden
- Michaela Pfadenhauer (2004): *Wie forschen Trendforscher? Zur Wissensproduktion in einer umstrittenen Branche*, in: Forum: Qualitative Sozialforschung, Volume 5, Nr. 2, Art. 36
- Mietzner, Dana (2009): *Strategische Vorausschau und Szenarioanalysen. Methodenevaluation und neue Ansätze*, 1. Auflage, Gabler, Wiesbaden
- Möhrle, Martin G. (2007): *Technologie-Roadmapping: Zukunftsstrategien für Technologieunternehmen*, Springer, Dordrecht
- Müller Adrian, Müller-Stewens Günther (2010): *Strategic Foresight - Trend- und Zukunftsforschung als Strategieinstrument*, in: Marko; Fiege Stefanie (Hrsg.): *Perspektiven des Strategischen Controllings*, 1. Auflage, Gabler Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden

Niederhausen, Herbert; Burkert, Andreas (2014): *Elektrischer Strom. Gestehung, Übertragung, Verteilung, Speicherung und Nutzung elektrischer Energie im Kontext der Energiewende*, Springer Vieweg, Wiesbaden

ÖE/Experten Pool Defence Plan (2021): *Systemschutzplan Österreich - Maßnahmenkatalog ÜNB, VNB und SNN*, Beilage 13.4 zum Systemschutzplan Österreich

Oliver Gassmann, Carmen Kobe (2006): *Management von Innovation und Risiko. Quantensprünge in der Entwicklung erfolgreich managen*, 2. Auflage, Springer, Berlin

Opitz, Christian; Germann, Tiffany (2019): *(Mega-)Trends/Stadtwerke 2025*, Universität St. Gallen, Kompetenzzentrum Energy Management, St. Gallen

Österreichs Energie (2017): *Strompreisanalyse 2017*, Österreichs E-Wirtschaft, Wien

Österreichs Energie (2020): *Strompreisanalyse 2020*, Österreichs E-Wirtschaft, Wien

OVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik (Hrsg.) (2020): *OVE EN 50160: Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen*

Paul Seidel, Joachim Seifert, Karl Eugen Wolfgang, Jens Werner, Peter Schegner (2018): *Das Regionale Virtuelle Kraftwerk im Praxistest*, Technische Universität Dresden, Dresden

Peter Granig; Erich Hartlieb; Doris Lingenhel (2016): *Geschäftsmodellinnovationen: Vom Trend zum Geschäftsmodell*, Springer Gabler, Wiesbaden

Pfeifer, W.; Weiß, E. (1995): *Handbuch Technologiemanagement*, in: Erich Zahn: *Handbuch Technologiemanagement*, Schäfer-Poeschel Verlag, Stuttgart

Philipp Mayring (2010): *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken*, 12. Auflage, Beltz Verlag, Weinheim/Basel

Pillkahn, Ulf (2007): *Trends und Szenarien als Werkzeuge zur Strategieentwicklung: Wie Sie die unternehmerische und gesellschaftliche Zukunft planen und gestalten*, Publicis Corporate Publishing, Erlangen

Pirker, Alexander; Schichler, Uwe (2016): *Zustandsbewertung elektrischer Betriebsmittel als Basis für eine sichere Energieübertragung*, Technische Universität Graz, Graz

Porzel, Richard; Neudert, Ernst; Sturm, Matthias (1996): *Diagnostik der elektrischen Energietechnik. Techniken und Prozeduren zur Zustandsanalyse von elektrotechnischen Betriebsmitteln*, expert-Verlag, Renningen-Malmsheim

Pricewaterhouse Coopers (PwC) (2016a): *Deutschlands Energieversorger werden digital*, Pricewaterhouse Coopers (PwC)

Pricewaterhouse Coopers (PwC) (2016b): *Österreichs Energiewirtschaft im Fokus: Die Branche im Umbruch*, Pricewaterhouse Coopers (PwC)

Rafael Popper (2008): *How are foresight methods selected?*, in: foresight, Emerald Group Publishing Limited, S. 62-79

- Reibnitz, Ute (1992): *Szenario-Technik: Instrumente für die unternehmerische und persönliche Erfolgsplanung*, 2. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden
- Reinhard Haas, Gustav Resch, Bettina Burgholzer, Gerhard Toschnig, Georg Lettner, Hans Auer, Jasper Geipel (2017): *Stromzukunft Österreich 2030. Analyse der Erfordernisse und Konsequenzen eines ambitionierten Ausbaus erneuerbarer Energien*, IG Windkraft, Kompost & Biogas Verband Österreich, IG-Holzkraft
- Richard Zahoransky, Hans-Josef Allelein, Elmar Bollin, Helmut Oehler, Udo Schelling (2010): *Energietechnik: Systeme zur Energieumwandlung: Kompaktwissen für Studium und Beruf*, 5. Auflage, Vieweg + Teubner, Wiesbaden
- Ropohl, Günter (2009): *Allgemeine Technologie: Eine Systemtheorie der Technik*, 3. Auflage, Universitätsverlag Karlsruhe, Karlsruhe
- Rust, Holger (2009): *Zukunftssillusionen: Kritik der Trendforschung*, VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, Wiesbaden
- Schäppi, Bernd (2005): *Handbuch Produktentwicklung*, Hanser, München
- Schuh, Günther; Klappert, Sascha (2011): *Technologiemanagement*, 2. Auflage, Springer Berlin, Heidelberg
- Schwab, Adolf J. (2015): *Elektroenergiesysteme: Erzeugung, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie*, 4. Auflage, Springer Berlin, Heidelberg
- Siemens AG (2014): *Aus Know-How wird Spitzentechnologie aus einem Guss: GEAF0-Gießharztransformatoren*, Siemens AG, Erlangen
- Siemens AG (2015): *Planung der elektrischen Energieverteilung: Technisch Grundlagen*, Siemens AG, Erlangen
- Siemens AG (2017): *Schaltanlagen Typ 8DJH für sekundäre Verteilungsnetze bis 24kV, gasisolierte Mittelspannungsschaltanlagen*, Siemens AG Energy Management, Erlangen
- Siemens AG (2021): *Energiemonitoring in der elektrischen Energieverteilung wirtschaftlich und zukunftsfähig umsetzen. Handlungsempfehlungen zu Produktauswahl und Systemgestaltung*, Siemens AG, Erlangen
- Specht, Günter; Beckmann, Christoph; Amelingmeyer, Jenny (2002): *F&E-Management: Kompetenz im Innovationsmanagement*, 2. Auflage, Schäffer-Poeschel, Stuttgart
- Steinmüller, Karlheinz; Kreibich, Rolf; Zöpel, Christoph (2000): *Zukunftsforschung in Europa. Ergebnisse und Perspektiven*, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT) und dem Sekretariat für Zukunftsforschung (SFZ), Baden-Baden
- Stigler, Heinz (1999): *Rahmen, Methoden und Instrumente für die Energieplanung in der neuen Wirtschaftsorganisation der Elektrizitätswirtschaft*, Dissertation, Technische Universität Graz, Graz

- Stuckenschneider, Heinrich (2007): *Pictures of the Future - Ein Modell zur Zukunftsgestaltung*, in: Matreier Gespräche - Schriftenreihe der Forschungsgemeinschaft Wilheminenberg, Technologiemanagement bei Siemens, S. 231-243
- Süßenbacher; Wilhelm (2011): *Marktgestaltung unter Berücksichtigung der Besonderheiten der Elektrizitätswirtschaft*, Dissertation, Technische Universität Graz, Graz
- Tauschek; Baumann; Bergmayer; Bitzan; Fiedler; Liesinger et al. (2018): *Digitalisierung der Netzführung im Verteilernetz*, Österreichs Energie, Wien
- Unkrig, Erich R. (2020): *Mandate der Führung 4.0. Agilität - Resilienz - Vitalität*, Springer Gabler, Wiesbaden/Heidelberg
- Vahs, Dietmar; Brem, Alexander (2015): *Innovationsmanagement: Von der Idee zur erfolgreichen Vermarktung*, 5. Auflag, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart
- VDI Technologiezentrum (1992): *Technologiefrühaufklärung: Identifikation und Bewertung von Ansätzen zukünftiger Technologien*, Schäffer-Poeschel, Stuttgart
- VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. (Hrsg.) (2000): *VDI 3780: Technikbewertung - Begriffe und Grundlagen*
- Vetten, Kurt (2015): *Machbarkeitsstudie: Regelbarkeit der Verteilnetze in der Innovationsregion Rheinisches Revier (IRR)*, Innovationsregion Rheinisches Revier GmbH, Köln/Jülich
- Wietschel, Martin; Arens, Marlene; Dötsch, Christian; Herkel, Sebastian; Krewitt, Wolfram; Markewitz, Peter et al. (2010): *Energietechnologien 2050 - Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung*, Fraunhofer Verlag, Stuttgart
- Wietschel, Martin; Ullrich, Sandra; Markewitz, Peter; Schulte, Friedrich; Genoese, Fabio (2015): *Energietechnologien der Zukunft. Erzeugung, Speicherung, Effizienz und Netze*, Springer Vieweg, Wiesbaden
- Zahn, Erich (1995): *Handbuch Technologiemanagement*, Schäffer-Poeschel, Stuttgart
- Zdrallek, Markus (2016): *Planungs- und Betriebsgrundsätze für ländliche Verteilungsnetze. Leitfaden zur Ausrichtung der Netze an ihren zukünftigen Anforderungen*, Bergische Universität Wuppertal, Siemens AG, Erlangen (Neue Energie aus Wuppertal, 8).
- Zimmermann, Hendrik; Wolf, Verena (2016): *Sechs Thesen zur Digitalisierung der Energiewende: Chancen, Risiken und Entwicklungen*, Germanwatch e.V. Büro Bonn, Bonn
- ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (2013): *Beitrag industrieller Blindleistungs-Kompensationsanlagen und -Verbraucher für ein innovatives Blindleistungs-Management in der Stromversorgung Deutschlands*, ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V., Frankfurt am Main
- Zweck, Axel (2005): *Handbuch Produktentwicklung*, Hanser, München/Wien

## Online Quellen

Absolventa: *Genartion XYZ - die komplette Generationen Übersicht*,

<https://www.absolventa.de/karriereguide/berufseinsteiger-wissen/xyz-generationen-arbeitsmarkt-ueberblick> [Stand: 07.05.2022]

Austrian Energy Agency (2016): *Energieeffizienz wirkt, Vorgaben übertroffen*,

<https://www.monitoringstelle.at/index.php?id=749> [Stand: 08.05.2022]

Austrian Power Grid AG (APG) (2021): *Regelzonen*,

<https://www.apg.at/de/Energiezukunft/Glossar/Regelzone> [Stand: 29.08.2021]

Barbara Schmidt (2017): *Empowering Austria: Die Stromstrategie von Österreichs E-Wirtschaft*,

[https://www.ove.at/fileadmin/user\\_upload/Plattformen/femOVE/Netzwerktreffen/NT\\_2017/2017-04-20/Schmidt\\_Barbara\\_20170420\\_FEMOVE\\_SB.pdf](https://www.ove.at/fileadmin/user_upload/Plattformen/femOVE/Netzwerktreffen/NT_2017/2017-04-20/Schmidt_Barbara_20170420_FEMOVE_SB.pdf) [Stand: 20.09.2021]

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2022): *Der Klimawandel und seine Folgen*,

[https://www.oesterreich.gv.at/themen/bauen\\_wohnen\\_und\\_umwelt/klimaschutz/Seite.1000200.html#Oestereich](https://www.oesterreich.gv.at/themen/bauen_wohnen_und_umwelt/klimaschutz/Seite.1000200.html#Oestereich) [Stand: 08.05.2022]

E-Control: *Bundesgesetze Strom*, <https://www.e-control.at/recht/bundesrecht/strom/gesetze> [Stand: 05.09.2021 a]

E-Control: *Die E-Control und der österreichische Energiemarkt*, <https://www.e-control.at/econtrol> [Stand: 05.09.2021 b]

E-Control: *Die wesentlichen Prozesse*, <https://www.e-control.at/marktteilnehmer/strom/strommarkt/wesentliche-prozesse>

[Stand: 29.08.2021 a]

E-Control: *Energielenkung und Krisenvorsorge - Strom*, <https://www.e-control.at/marktteilnehmer/strom/versorgungssicherheit/energielenkung>

[Stand: 05.09.2021 d]

E-Control: *Monitoringreport Versorgungssicherheit*, <https://www.e-control.at/marktteilnehmer/strom/versorgungssicherheit/monitoring>

[Stand: 05.09.2021 e]

E-Control: *Netz und Netzbetreiber in Österreich*, <https://www.e-control.at/konsumenten/netz-und-netzbetreiber-in-oesterreich> [Stand: 29.08.2021 b]

E-Control: *Technische und Organisatorische Regeln für Betreiber und Benutzer von Netzen (TOR)*,

<https://www.e-control.at/marktteilnehmer/strom/marktregeln/tor> [Stand: 30.04.2022 a]

E-Control: *Verordnung zur Festlegung eines Netzkodex mit Netzanschlussbestimmungen für*

*Stromerzeuger (RfG-VO)*, <https://www.e-control.at/rfg-network-code> [Stand: 30.04.2022 b]

E-Control: *Versorgungssicherheit*, <https://www.e-control.at/industrie/strom/versorgungssicherheit> [Stand: 05.09.2021 f]

E-Control: *Verteilnetzbetreiber*, <https://www.e-control.at/marktteilnehmer/strom/marktregeln/allgemeinebedingungen/vnb> [Stand: 29.08.2021 c]

E-Control: *Zuverlässigkeit*, <https://www.e-control.at/marktteilnehmer/strom/versorgungssicherheit/zuverlaessigkeit> [Stand: 05.09.2021 g]

Elektrowirtschaft (2021): *Studie: Unternehmen rechnen auch für 2021 mit Fachkräftengpässen*, <https://www.elektrowirtschaft.de/studie-unternehmen-rechnen-auch-fuer-2021-mit-fachkraefteengpaessen/> [Stand: 07.05.2022]

Energiesystem Forschung: *Stromversorgung aller Branchen verknüpft*, [https://www.energiesystemforschung.de/energiesystem/sektoren\\_verbinden](https://www.energiesystemforschung.de/energiesystem/sektoren_verbinden) [Stand: 11.01.2022]

Europapalament: *Strengere Klimaziele für Autos bis 2030*, <https://www.europarl.europa.eu/news/de/press-room/20180925IPR14306/strengere-klimaziele-fur-autos-bis-2030> [Stand: 20.09.2021]

European Commission: *Clean energy for all Europeans package*, [https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans\\_en](https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans_en) [Stand: 28.09.2021]

Franz Kolland, Anna Wanka (2022): *Von den Baby Bommern zur Generation Y. Eine empirische Studie*. Hg. v. *Wirtschaftskammer Wien*, <https://www.wko.at/site/Charta-der-Vielfalt/Service/publikationen/zusammenfassung-studie-f-website-17-3-17.pdf> [Stand: 07.05.2022]

Google (2021): *Trend "blackout"*, <https://trends.google.de/trends/explore?q=blackout> [Stand: 06.01.2022]

Hans-Martin, Henning (2018): *Digitalisierung und Energiesystemtransformation - Chancen und Herausforderungen*, [https://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2018/th2018\\_02.pdf](https://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2018/th2018_02.pdf) [Stand: 21.09.2021]

Klaus Kraigher (2022): *Wirtschaftsstandort sichern: Mehr erneuerbarer Strom als Rezept gegen rasant steigende Strompreise*. Hg. v. *Österreichische Energieagentur - Austrian Energy Agency*, [https://www.energyagency.at/aktuelles-presse/news/detail/artikel/wirtschaftsstandort-sichern-mehr-erneuerbarer-strom-als-rezept-gegen-rasant-steigende-strompreise.html?no\\_cache=1#:~:text=Im%20November%202021%20war%20beispielsweise,%3A%20244%20%E2%82%AC%2FMWh](https://www.energyagency.at/aktuelles-presse/news/detail/artikel/wirtschaftsstandort-sichern-mehr-erneuerbarer-strom-als-rezept-gegen-rasant-steigende-strompreise.html?no_cache=1#:~:text=Im%20November%202021%20war%20beispielsweise,%3A%20244%20%E2%82%AC%2FMWh)) [Stand: 07.05.2022]

Kornberger, Ingrid (2017): *Aktivisten besetzen das Murufer*. Hg. v. *Kleine Zeitung / APA*, [https://www.kleinezeitung.at/steiermark/5166971/Murkraftwerk-Graz\\_Aktivisten-besetzen-das-Murufer](https://www.kleinezeitung.at/steiermark/5166971/Murkraftwerk-Graz_Aktivisten-besetzen-das-Murufer) [Stand: 06.05.2022]

Nagl, Matthias (2020): *Zerschnittene Zäune: Protest gegen 380-kV-Leitung wird rauer*. Hg. v. *Kurier*, <https://kurier.at/chronik/oesterreich/zerschnittene-zaeune-protest-gegen-380-kv-leitung-wird-rauer/400760439> [Stand: 06.05.2022]

Next-Kraftwerke: *Was ist ein Virtuelles Kraftwerk?*, <https://www.next-kraftwerke.de/wissen/virtuelles-kraftwerk> [Stand: 07.05.2022]

Österreichs Energie (2021): *Sektorkopplung - mit Strom die Klimaziele meistern*, [https://oesterreichsenergie.at/fileadmin/user\\_upload/Oesterreichs\\_Energie/Publikationsdatenbank/Factsheets/Factsheet\\_Sektorkopplung.pdf](https://oesterreichsenergie.at/fileadmin/user_upload/Oesterreichs_Energie/Publikationsdatenbank/Factsheets/Factsheet_Sektorkopplung.pdf) [Stand: 20.09.2021]

- Österreichs Energie (2022): *Studie: Wie geht es weiter mit den Strompreisen?*,  
<https://oesterreichsenergie.at/aktuelles/neuigkeiten/detailseite/strompreisstabilitaet> [Stand: 08.05.2022]
- Piller Power Systems: *Schwungrad-Energiespeicher und Batteriesysteme*, <https://www.piller.com/de-DE/183/schwungrad-energiespeicher-und-batteriesysteme> [Stand: 24.09.2021]
- Pricewaterhouse Coopers (PwC) (2016): *Deutschlands Energieversorger werden digital*,  
<https://www.pwc.de/de/energiwirtschaft/deutschlands-energieversorger-werden-digital.html> [Stand: 21.09.2021]
- Pricewaterhouse Coopers (PwC) (2016c): *Digitalisierung - Chancen und Risiken*,  
<https://www.pwc.at/de/branchen/energiwirtschaft/energie-studie/digitalisierung.html> [Stand: 21.09.2021]
- Ritchey, Tom: *Allgemeine Morphologische Analyse - Ein Überblick*, Hg. v. Swedisch Morphological Society, <https://www.swemorph.com/blurbs/gma-blurb-ger.pdf> [Stand: 27.12.2021]
- Springer Gabler: *Trend. Definition: Was ist "Trend"?*, <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/trend-50522#:~:text=Der%20Trend%20ist%20eine%20%2D%20h%C3%A4ufig,als%20deterministischer%20Trend%20bezeichnet%20wird> [Stand: 11.09.2021]
- Statistik Austria: *Kraftfahrzeuge - Bestand*,  
[http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/energie\\_umwelt\\_innovation\\_mobilitaet/verkehr/strasse/kraftfahrzeuge\\_-\\_bestand/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/verkehr/strasse/kraftfahrzeuge_-_bestand/index.html) [Stand: 20.09.2021]
- Verbund: *Sektorkopplung - Chance und Notwendigkeit*,  
[file:///C:/Users/maxim/Downloads/0717\\_VERBUND-Standpunkte\\_zur\\_Sektorkopplung.pdf](file:///C:/Users/maxim/Downloads/0717_VERBUND-Standpunkte_zur_Sektorkopplung.pdf) [Stand: 20.09.2021]
- Zukunftsinstitut: *Glossar Neo-Ökologie: Trendbegriffe und Definitionen*,  
<https://www.zukunftsinstitut.de/artikel/megatrend-glossar/neo-oekologie-glossar/>, [Stand: 17.09.2021 c].
- Zukunftsinstitut: *Verschiedene Trends und Trendkategorien*, <https://www.zukunftsinstitut.de/artikel/trends-grundlagenwissen/> [Stand: 17.09.2021 b]
- Zukunftsinstitut (2022): *Glossar Globalisierung: Trendbegriffe und Definitionen*,  
<https://www.zukunftsinstitut.de/artikel/megatrend-glossar/globalisierung-glossar/> [Stand: 06.05.2022 d]

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Untersuchungsdesign Theorie, Quelle: Eigene Darstellung .....	3
Abbildung 2: Untersuchungsdesign Praxis, Quelle: Eigene Darstellung .....	4
Abbildung 3: Prinzipielle Darstellung der Netzebenen u. der typischen Erzeuger/Lasten, Quelle: Kurt Vetten (2015), S. 15 .....	8
Abbildung 4: Übersicht über den Strommarkt, Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2021), S. 13.....	11
Abbildung 5: Klassische Elemente der Versorgungssicherheit, Quelle: Deutsche Energie-Agentur GmbH (2019), S. 2.....	17
Abbildung 6: Elemente der Versorgungssicherheit, Quelle: Horst et al. (2016), S. 24 .....	18
Abbildung 7: Lebenszyklusphasen einer Technologie von Arthur D. Little, Quelle: Schuh und Klappert (2011), S. 46.....	20
Abbildung 8: S-Kurven-Konzept zur Klassifizierung des technologischen Reifestadiums, Quelle: Schuh und Klappert (2011), S. 43 .....	21
Abbildung 9: Konzeption und Gestaltung des Technologiemanagements, Quelle: Schuh und Klappert (2011), S. 95.....	23
Abbildung 10: Technologiefrüherkennungsprozess, Quelle: Schuh und Klappert (2011), S. 112.....	24
Abbildung 11: Ablaufmodelle der Inhaltsanalyse nach Mayring, Quelle: In Anlehnung an Philipp Mayring (2010), S. 52.....	27
Abbildung 12: Technologiereifegrade, Quelle: Kind et al. (2018), S. 3.....	28
Abbildung 13: Technologieportfolio nach Pfeiffer, Quelle: Schuh und Klappert (2011), S. 334 .....	29
Abbildung 14: Verletzung des Spannungsbandes im Niederspannungsnetz, Quelle: Brauner (2016), S.124 .....	32
Abbildung 15: Einhaltung des Spannungsbandes durch einen geregelten Ortsnetztransformator, Quelle: Brauner (2016), S.124 .....	32
Abbildung 16: Prinzipdarstellung eines Spannungsstabilisators, Quelle: Renner und Sakulin (2008), S. 80 .....	33
Abbildung 17: Direkte und indirekte Möglichkeiten der Energiespeicherung, Quelle: Niederhausen und Burkert (2014), S. 156 .....	35
Abbildung 18: Aufbau einer Freileitung, Quelle: Heuck et al. (2013), S. 213.....	37
Abbildung 19: Struktur eines hybriden AC/DC-Netzes, Quelle: Wietschel et al. (2015), S. 299, nach Fraunhofer ISI Karlsruhe .....	38
Abbildung 20: Übersicht Systemdienstleistungen, Quelle: Tauschek et al. (2018), S. 8 .....	39



Abbildung 21: Mögliche zukünftige Systemdienstleistungen, deren Herausforderungen und die zeitliche Einordnung der Relevanz für die Forschung, Quelle: Dreher et al. (2020), S. 9 .....	40
Abbildung 22: Die Anatomie von Trends, Quelle: In Anlehnung an Pillkahn (2007), S. 126 .....	42
Abbildung 23: Trendkategorien im Wellenmodell Quelle: Unkrig (2020) S. 14, nach Zukunftsinstitut (2015) .....	44
Abbildung 24: Aufbau der Zukunftsforschung und der strategischen Vorschau, Quelle: In Anlehnung an Mietzner (2009), S. 62 .....	46
Abbildung 25: Szenario-Trichter; Quelle: Mietzner (2009), S. 119, in Anlehnung an Reibnitz (1988), S. 30 .....	49
Abbildung 26: Wechselwirkungsanalyse, Quelle: In Anlehnung an Pillkahn (2007), S. 209 .....	52
Abbildung 27: Wilson-Matrix zur Bewertung von Zukunftselementen, Quelle: In Anlehnung an Pillkahn (2007), S. 207 .....	52
Abbildung 28: Morphologischer Kasten; Quelle: In Anlehnung an Pillkahn (2007), S. 208 .....	53
Abbildung 29: Entwicklung von Zukunftsbildern nach Pillkahn, Quelle: In Anlehnung an Pillkahn (2007), S. 181 .....	54
Abbildung 30: Weltweiter Primärenergiebedarf nach Energieträger (in Mrd. Tonnen Öläquivalent), Quelle: Bp energy economics (2018), S. 68, modifiziert durch Statista .....	56
Abbildung 31: Transformation des Energiesystems (zentral – dezentral), Quelle: Seidel et al. (2018), S. 2 .....	58
Abbildung 32: Digitalisierung der gesamten Wertschöpfungskette in der Energieversorgung; Quelle: BDWE Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2016), S. 18 in Anlehnung an Pricewaterhouse Coopers (PwC) .....	59
Abbildung 33: Sektorkopplung, Prinzip von Power-To-X, Quelle: Energiesystem Forschung, Onlinequelle [20.09.2021] .....	61
Abbildung 34: Üblicher Hausanschluss vs. übliche Ladeleistung Elektrofahrzeug, Quelle: Barbara Schmidt (2017), Onlinequelle [20.09.2021] .....	62
Abbildung 35: Wandel des Kunden zum Prosumer und die Rolle der EVUs, Quelle: Huener und Bez (2015), S. 342 .....	64
Abbildung 36: Regulierung des Netzbereichs in der Wertschöpfungskette, Quelle: Zahoransky et al. (2010), S. 400 .....	67
Abbildung 37: Point-of-no-Return-Lösung durch Effizienz und Nachhaltigkeit, Quelle: In Anlehnung an Brauner (2016), S. 13 .....	68
Abbildung 38: Eignung der Methoden der Technologiefrüherkennung und Technologiebewertung, Quelle: Möhrle (2007), S. 73 .....	70

Abbildung 39: Szenarienbasierter Technologiefrüherkennungs- und Technologiebewertungsprozess, Quelle: Eigene Darstellung.....	72
Abbildung 40: Suchfelder (gelb) für die qualitative Erhebung; Quelle: Eigene Darstellung.....	79
Abbildung 41: Trendsteckbrief des Trends Steigerung des Strombedarfs; Quelle: Eigene Darstellung ...	89
Abbildung 42: Elemente der Versorgungssicherheit, Quelle: In Anlehnung an Horst et al. (2016), S. 24, Adaptierte Darstellung .....	90
Abbildung 43: Ergebnisse der Umfrage zur Trendbewertung (Wilson-Matrix), Quelle: Eigene Darstellung .....	92
Abbildung 44: Technologieportfolio – Szenario: > 100 % erneuerbare Energien, Quelle: Eigene Darstellung .....	103
Abbildung 45: Technologieportfolio – Szenario: Zero Investment, Quelle: Eigene Darstellung .....	103
Abbildung 46: Technologieportfolio – Szenario: Green-Tech-Cluster, Quelle: Eigene Darstellung.....	104
Abbildung 47: Zukunftsszenario Zero Investment, Quelle: Eigene Darstellung.....	106
Abbildung 48: Zukunftsszenario > 100 % erneuerbare Energien, Quelle: Eigene Darstellung .....	109
Abbildung 49: Zukunftsszenario Green-Tech-Cluster, Quelle: Eigene Darstellung .....	111
Abbildung 50: Entkopplung des Bruttoinlandsprodukt vom realen Energieverbrauch, Quelle: Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2020), S. 26	137
Abbildung 51: Anteil der verschiedenen Energiequellen an dem aus erneuerbaren Energien erzeugten Strom in der EU-28 im Zeitraum 2005-2017, Quelle: Europäischer Rechnungshof (2019), S. 10-11 .....	137
Abbildung 52: Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung in der EU im Zeitraum 2005-2017, Quelle: Europäischer Rechnungshof (2019), S. 10-11 .....	138
Abbildung 53: Installierte Leistung erneuerbarer Energiequellen nach Netzebene in Deutschland, Quelle: Wietschel et al. (2015), S. 324 .....	138
Abbildung 54: Entwicklung des Anteils an E-Autos in Österreich, Quelle: Statistik Austria, Onlinequelle [20.09.2021].....	139
Abbildung 55: Strompreisentwicklung von 1996 bis 2016, Quelle: Österreichs Energie (2017), S. 7 .....	139
Abbildung 56: Strompreisentwicklung von 2007 bis 2022, Quelle: Österreichs Energie (2020), S. 7 .....	140
Abbildung 57: Maßnahmeneffekte bezogen auf die Lebensdauer der Maßnahmen, Quelle: Bäck et al. (2020), S. 23.....	140
Abbildung 58: Hauptprobleme der Netzqualität, Quelle: Siemens AG (2015), S. 74.....	141
Abbildung 59: Netzformen im Niederspannungsnetz, Quelle: Siemens AG (2015), S. 33.....	142
Abbildung 60: Netzformen im Mittelspannungsnetz, Quelle: Siemens AG (2015), S. 68 .....	142
Abbildung 61: Ausbildungsstand der Teilnehmer zur Umfrage über die Trends in der Elektrizitätswirtschaft, Quelle: MS-Forms.....	254

Abbildung 62: Berufserfahrung der Teilnehmer zur Umfrage über die Trends in der Elektrizitätswirtschaft, Quelle: MS-Forms ..... 254

Abbildung 63: Ausbildungsstand der Teilnehmer zur Umfrage über den Technologiereifegrad, Quelle: MS-Forms ..... 254

Abbildung 64: Berufserfahrung der Teilnehmer zur Umfrage über den Technologiereifegrad, Quelle: MS-Forms..... 254

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Paradigmen der Elektrizitätswirtschaft, Quellen: In Anlehnung an Bachhiesl (2004), S. 11.....	5
Tabelle 2: Netzebenen des Elektroenergiesystems, Quelle: In Anlehnung an Vetten (2015), S. 15.....	8
Tabelle 3: Übersicht des Begriffes ‚Versorgungssicherheit‘, Quelle: In Anlehnung an E-Control, Onlinequelle [05.09.2021 f].....	12
Tabelle 4: Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen, Quelle: In Anlehnung an Siemens AG (2015), S. 73 .....	14
Tabelle 5: Kriterien zur systematischen Einteilung von Technologien, Quelle: In Anlehnung an Gerpott (2005), S. 26-27.....	19
Tabelle 6: Methodenübersicht zur Technologiefrüherkennung und -bewertung, Quellen: Möhrle (2007), S. 69, Lichtenthaler (2004), S. 130, Gochermann (2020) S. 46–47, VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. (Hrsg.) (2000), S. 31, Pfeifer und Weiß (1995), S. 669.....	26
Tabelle 7: Erwartungen an Zukunftsbilder, Quelle: In Anlehnung an Pillkahn (2007), S. 165 .....	46
Tabelle 8: Foresight-Methoden, Quellen: Möhrle (2007), S. 73, Pillkahn (2007), S. 198, Popper (2008), S. 66, Mietzner (2009), S. 333-344.....	48
Tabelle 9: Unterscheidungsformen der Szenariotechnik; Quelle: In Anlehnung an Fink et al. (2002), S. 63 .....	50
Tabelle 10: Methoden-Kombinations-Matrix (MCM), dabei wurde in einer Studie mit 886 untersuchten Fällen die Anzahl an .....Methodenkombinationen ermittelt, Quelle: In Anlehnung an Rafael Popper (2008), S. 81 .....	71
Tabelle 11: Bewertungsgrößen für die Nutzwertanalyse, Quelle: in Anlehnung an Gochermann (2020), S. 23-24.....	76
Tabelle 12: Übersicht über die befragten Experten, Quelle: Eigene Darstellung.....	77
Tabelle 13: Auswertung der Frage 1 der quantitativen Erhebung, Quelle: Eigene Darstellung .....	78
Tabelle 14: Auswertung der Frage 2 der quantitativen Erhebung, Quelle: Eigene Darstellung .....	78
Tabelle 15: Auswertung der Frage 3 der quantitativen Erhebung, Quelle: Eigene Darstellung .....	78
Tabelle 16: Auswertung der Frage 4 der quantitativen Erhebung, Quelle: Eigene Darstellung .....	78
Tabelle 17: Auswertung der Frage 5 der quantitativen Erhebung, Quelle: Eigene Darstellung .....	78
Tabelle 18: Auswertung der Frage 6 der quantitativen Erhebung, Quelle: Eigene Darstellung .....	79
Tabelle 19: Technologien gemäß den Elementen der Versorgungssicherheit, Quelle: Eigene Darstellung .....	91
Tabelle 20: Technologiereifegrad der Elemente der Versorgungssicherheit, Quelle: Eigene Darstellung	93
Tabelle 21: SWOT-Analyse, Quelle: Eigene Darstellung.....	95

Tabelle 22: Morphologische Matrix; Quelle: Eigene Darstellung .....	97
Tabelle 23: Relative Gewichtung der Kriterien der Nutzwertanalyse, Quelle: Eigene Darstellung.....	102
Tabelle 24: Paarweiser Vergleich der Kriterien der relativen Position, Quelle: eigene Darstellung .....	255
Tabelle 25: Paarweiser Vergleich der Kriterien der Technologieattraktivität, Quelle: eigene Darstellung	255
Tabelle 26: Nutzwertanalyse zur relativen Technologieposition, Quelle: eigene Darstellung .....	256
Tabelle 27: Nutzwertanalyse zur Technologieattraktivität, Quelle: eigene Darstellung .....	257

## ANHANG 1: STATISTIKEN

### Entkopplung: Bruttoinlandsverbrauch vom Wirtschaftswachstum

Index 2005 = 100

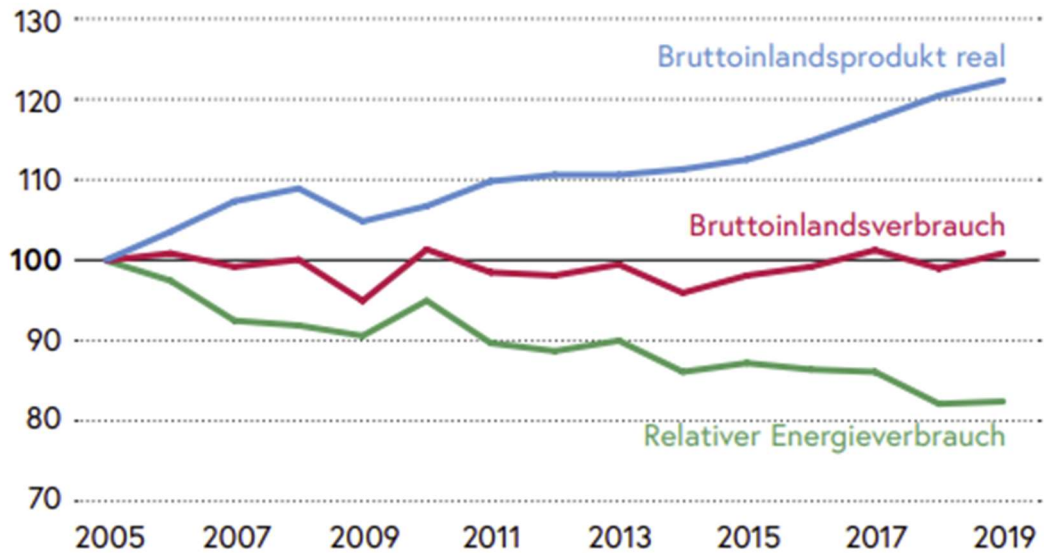


Abbildung 50: Entkopplung des Bruttoinlandsprodukt vom realen Energieverbrauch, Quelle: Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2020), S. 26

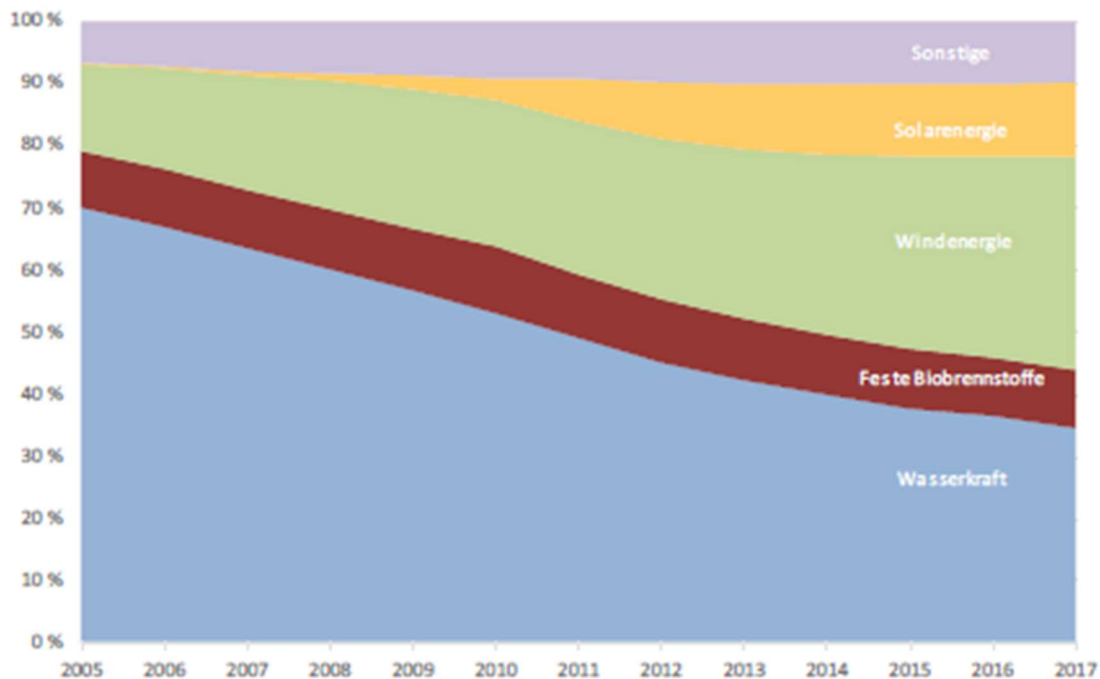


Abbildung 51: Anteil der verschiedenen Energiequellen an dem aus erneuerbaren Energien erzeugten Strom in der EU-28 im Zeitraum 2005-2017, Quelle: Europäischer Rechnungshof (2019), S. 10-11

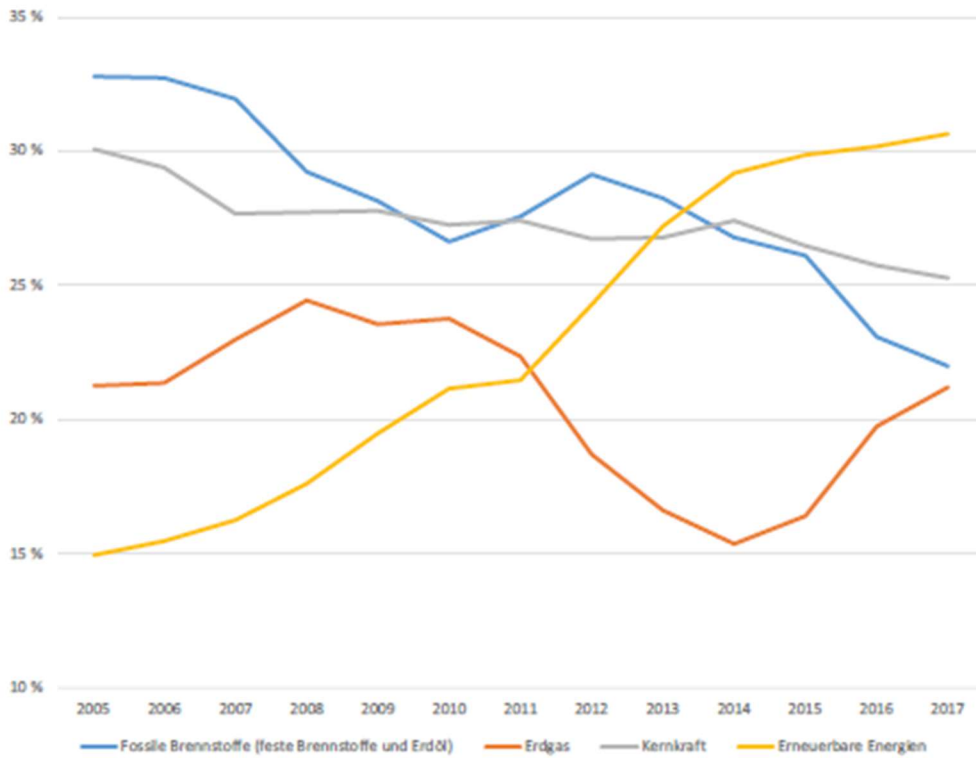


Abbildung 52: Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung in der EU im Zeitraum 2005-2017, Quelle: Europäischer Rechnungshof (2019), S. 10-11

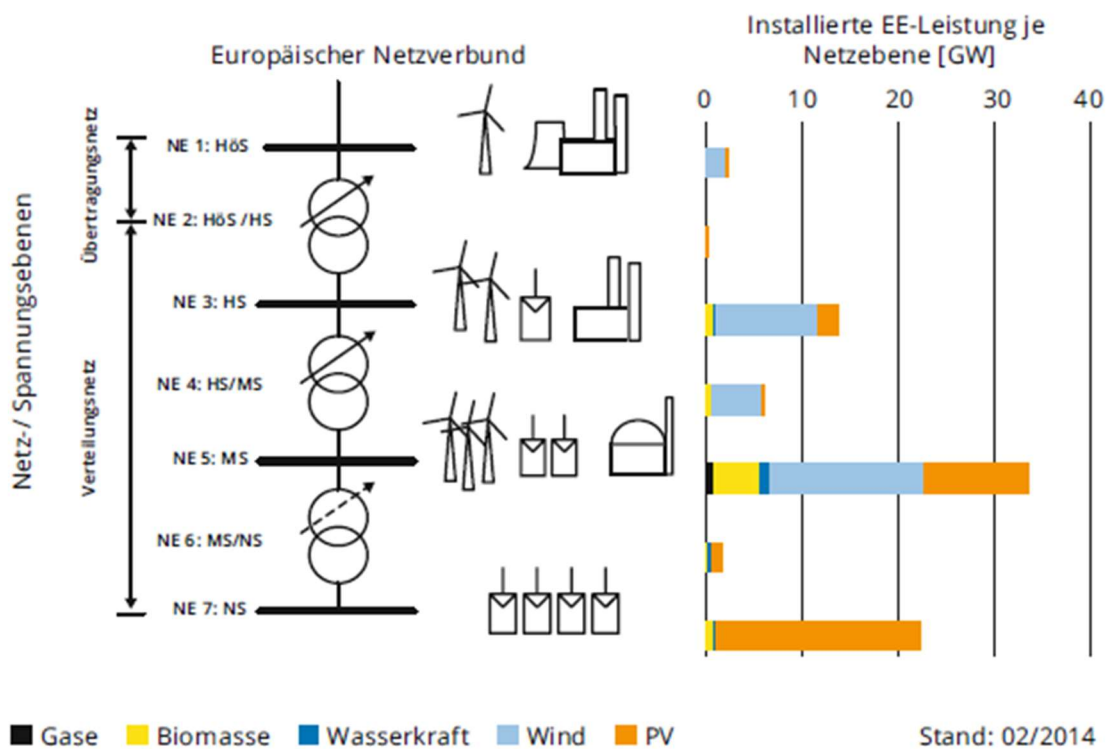


Abbildung 53: Installierte Leistung erneuerbarer Energiequellen nach Netzebene in Deutschland, Quelle: Wietschel et al. (2015), S. 324

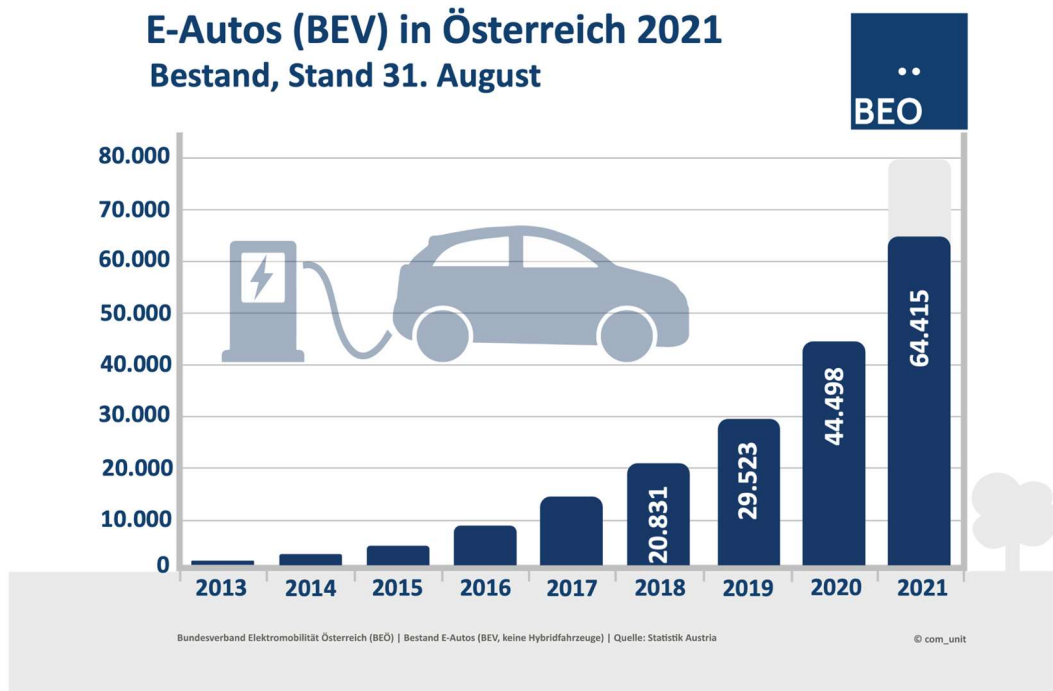


Abbildung 54: Entwicklung des Anteils an E-Autos in Österreich, Quelle: Statistik Austria, Onlinequelle [20.09.2021]

#### Preis- und Steuerentwicklung im Vergleich

1996 bis 2016, Veränderung in Prozent gegenüber 1996; Basis 1996 = 100

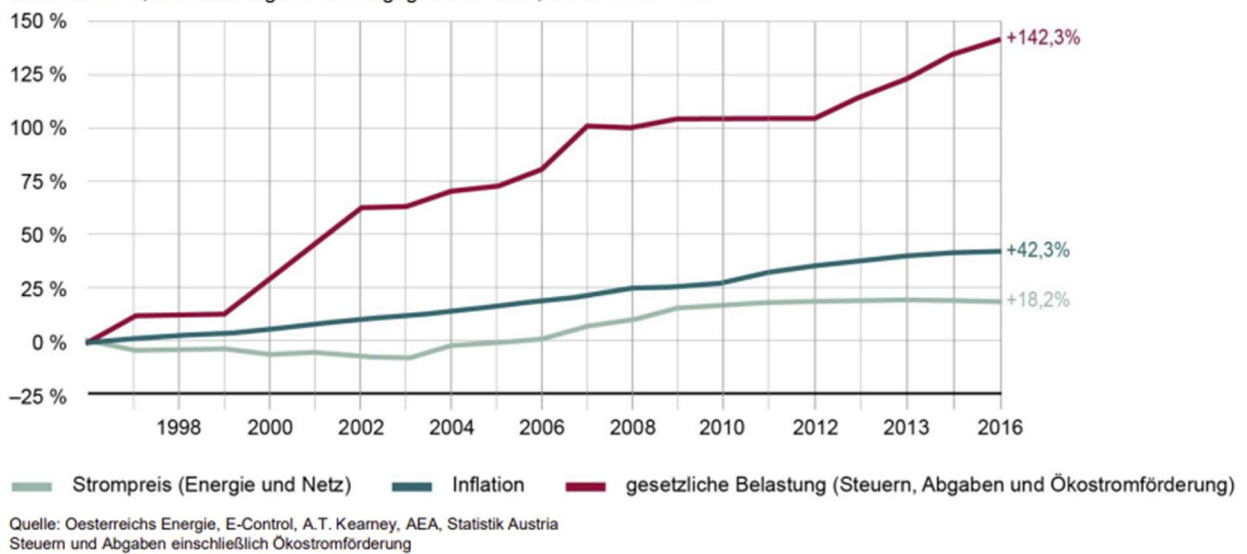
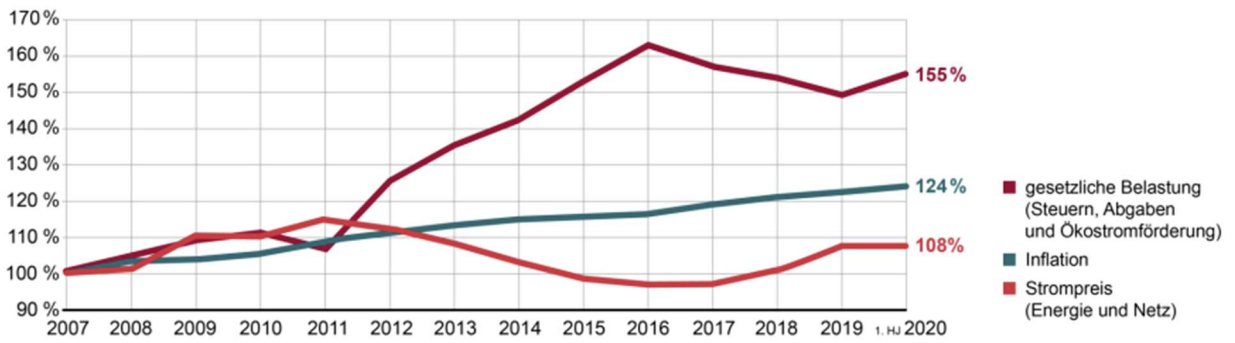


Abbildung 55: Strompreisentwicklung von 1996 bis 2016, Quelle: Österreichs Energie (2017), S. 7



**Preis- und Steuerentwicklung im Vergleich (Haushaltsstrompreise)**

2007 bis 1. Halbjahr 2020, Veränderung in Prozent gegenüber 2007; Basis 2007 = 100



Quelle: Eurostat (2020, nrg\_pc204), Statistik Austria, Oesterreichs Energie

Abbildung 56: Strompreisentwicklung von 2007 bis 2022, Quelle: Österreichs Energie (2020), S. 7

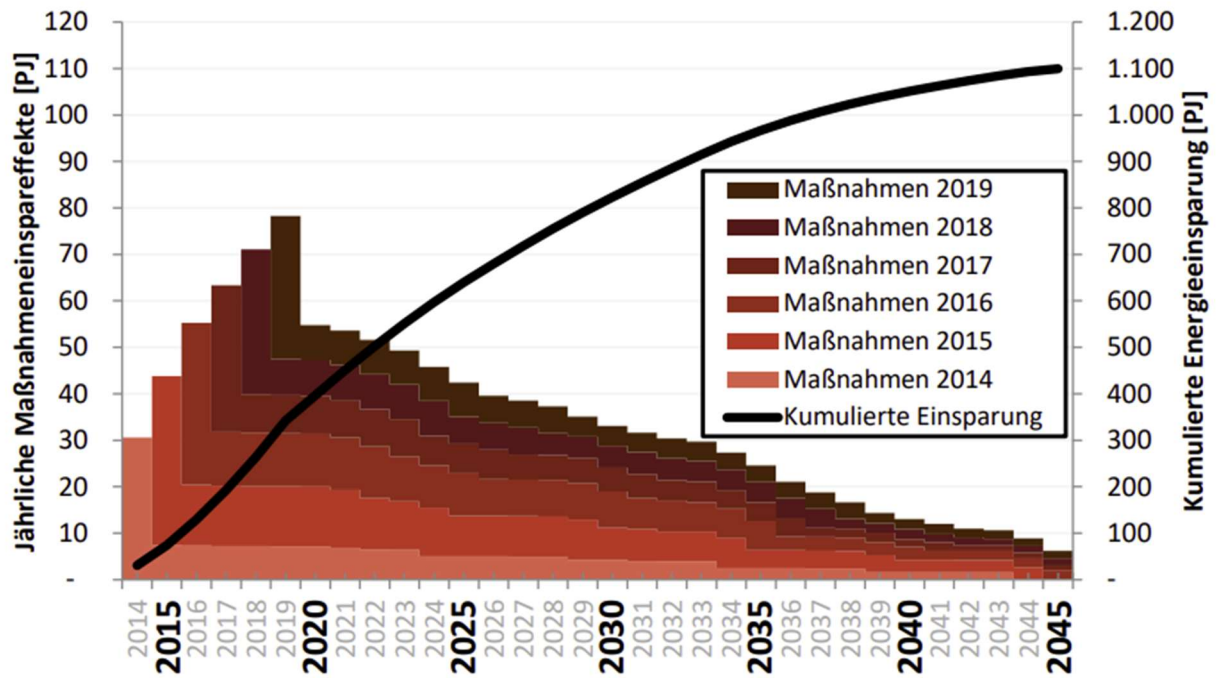


Abbildung 57: Maßnahmeneffekte bezogen auf die Lebensdauer der Maßnahmen, Quelle: Bäck et al. (2020), S. 23

## ANHANG 2: AUSGEWÄHLTE THEMENGEBIETE AUS DER ELEKTRISCHEN ENERGIETECHNIK

Problem	Beschreibung	Ursache	Auswirkungen
	<b>Frequenzänderung:</b> Veränderung der normalerweise stabilen Netzfrequenz von 50 oder 60 Hz nach oben oder unten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zu- oder Abschalten von großen Verbrauchern, zum Beispiel Klimageräte</li> <li>• Zu- oder Auskoppeln von Stromerzeugern oder kleinen Kraftwerken</li> <li>• Energiequellen mit instabiler Frequenz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehlfunktion oder gar Beschädigung des IT-Equipments</li> <li>• Datenverlust</li> <li>• Systemabsturz</li> </ul>
	<b>Unterbrechung der Stromversorgung:</b> Planmäßige oder unplanmäßige Unterbrechung der Versorgung in einem bestimmten Gebiet, kurzzeitige Unterbrechungen von einer halben Sekunde bis zu 3 min, sowie lange Unterbrechungen von mehr als 3 min	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schaltvorgänge beim Versuch, eine elektrische Störung zu isolieren und die Stromversorgung des betreffenden Raumes aufrecht zu erhalten</li> <li>• Zwischenfälle, Naturereignisse, etc.</li> <li>• Sicherungen, Wirkung einer Schutzfunktion, zum Beispiel automatisches Wiedereinschalten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Absturz empfindlicher Softwareprozesse</li> <li>• Verlust der Speicherinhalte von Rechnern</li> <li>• Hardwareausfall oder -schäden</li> </ul>
	<b>Spannungseinbruch/ Spannungserhöhung (sag/swell):</b> Alle kurzzeitigen (eine Halbwelle bis 60 s) Verringerungen oder Erhöhungen der Spannung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zu- oder Abschalten von großen Verbrauchern, zum Beispiel Klimageräte</li> <li>• Kurzschüsse (Störungen)</li> <li>• Unterdimensionierte Energieversorgung</li> <li>• Durch Ausfall von Anlagen oder durch Schaltvorgänge beim Versorgungsunternehmen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Speicherverlust, Datenfehler, Störungen der Bildschirmdarstellung</li> <li>• Schwankungen der Beleuchtung</li> <li>• Unrunder Lauf oder Stoppen von Motoren und Verkürzung der Motorlebensdauer</li> </ul>
	<b>Abweichungen der Versorgungsspannung:</b> Abweichungen von der Nennspannung nach oben oder nach unten bei normalen Betriebsbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Änderungen der Netzspannungsamplitude aufgrund von Lastwechseln</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anlagenabschaltung durch Unterspannungsauslösung</li> <li>• Überhitzung und / oder Beschädigung von Anlagen durch Überspannung</li> <li>• Verringerung des Wirkungsgrades oder der Lebensdauer elektrischer Anlagen</li> </ul>
	<b>Schnelle Spannungsänderung/Flicker:</b> Unstetige visuelle Empfindung, verursacht durch einen Lichtreiz, dessen Helligkeit oder Spektralverteilung sich mit der Zeit verändert	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intermittierende Lasten</li> <li>• Motoranlauf bei Lüftern, Pumpen</li> <li>• Lichtbogenöfen</li> <li>• Schweißanlagen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konzentrationsstörungen, Kopfschmerzen etc. bei Personen durch flackernde Beleuchtung; fehlerhafte Produkte durch Produktionsmängel</li> </ul>
	<b>Transiente:</b> Eine Transiente ist eine plötzliche Spannungsänderung um bis zu mehrere tausend Volt. Sie kann in Form eines Pulses oder eines Schwingvorgangs auftreten (weitere Bezeichnungen: Impuls, Stoßspannung oder Spannungsspitze) <b>Einbruch:</b> Dies ist eine Störung, die mit umgekehrter Polarität auf die Signalform einwirkt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schaltvorgänge beim Energieversorger</li> <li>• Zu- oder Abschalten von großen Verbrauchern, Aufzügen</li> <li>• Statische Entladungen</li> <li>• Blitzschlag</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hardwareschäden</li> <li>• Datenverluste</li> <li>• Durchschmoren von Platinen und Netzteilen</li> </ul>
	<b>Rauschen:</b> Es handelt sich um unerwünschte elektrische Signale, die von Einrichtungen erzeugt werden <b>Oberschwingungen:</b> Verzerrung der idealen Sinusschwingung durch nichtlineare Lasten im Versorgungsnetz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rauschen wird durch elektromagnetische Störungen verursacht, zum Beispiel durch Mikrowellen, Radio und TV-Signale oder unzureichende Erdung</li> <li>• Der Klirrfaktor wird zum Beispiel durch USV-Anlagen beeinflusst</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das Rauschen stört empfindliche Elektronik</li> <li>• Datenverluste</li> <li>• Harmonische Verzerrung bewirkt ein Überhitzen von Motoren, Transformatoren und Leitungen</li> <li>• Fehlfunktionen von Leistungsschaltern, Relais oder Sicherungen</li> </ul>

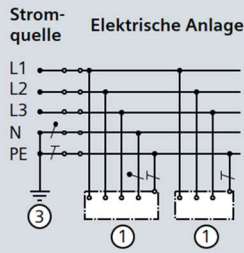
Abbildung 58: Hauptprobleme der Netzqualität, Quelle: Siemens AG (2015), S. 74

## Anhang 2: Ausgewählte Themengebiete aus der elektrischen Energietechnik

**TN-System:** Im TN-System ist ein Betriebsleiter direkt geerdet; die Körper der elektrischen Anlage sind über Schutzleiter mit diesem geerdeten Punkt verbunden. Man unterscheidet in Abhängigkeit von der Anordnung der Schutz- (PE) und Neutralleiter (N) drei Systeme:

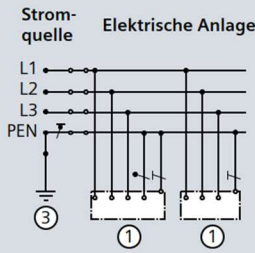
**a) TN-S-System:**

Im gesamten System werden Neutral- (N) und Schutzleiter (PE) getrennt verlegt.



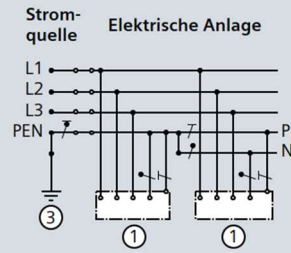
**b) TN-C-System:**

Im gesamten System sind die Funktion des Neutral- und die des Schutzleiters in einem Leiter kombiniert (PEN)

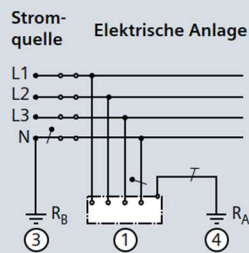


**c) TN-C-S-System:**

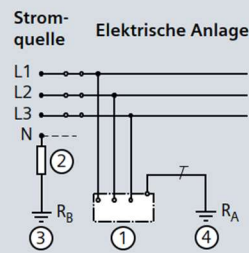
In einem Teil des Systems sind die Funktion des Neutral- und die des Schutzleiters in einem Leiter kombiniert (PEN)



**TT-System:** Im TT-System ist ein Betriebsleiter direkt geerdet, die Körper der elektrischen Anlage sind mit Erden verbunden, die elektrisch unabhängig vom Erder des Systems sind.



**IT-System:** Alle aktiven Betriebsleiter sind im IT-System von Erde getrennt, oder ein Punkt ist über eine Impedanz mit Erde verbunden.



Erster Buchstabe = Erdungsbedingung der speisende Stromquelle  
 T = direkte Erdung eines Punktes (aktiver Leiter)  
 I = kein Punkt (aktiver Leiter) oder ein Punkt der Stromquelle ist über eine Impedanz mit Erde verbunden

Zweiter Buchstabe = Erdungsbedingung der leitfähigen Körper in der elektrischen Anlage  
 T = Leitfähige Körper sind einzeln, in Gruppen oder gemeinsam mit Erde verbunden

N = Leitfähige Körper sind über Schutzleiter direkt mit dem geerdeten Punkt der elektrischen Anlage (in der Regel N-Leiter in der Nähe der Stromquelle) verbunden

Weitere Buchstaben = Anordnung des Neutral- und des Schutzleiters  
 S = Neutralleiter- und Schutzleiterfunktion sind als getrennte Leiter verlegt

C = Neutralleiter- und Schutzleiterfunktion sind kombiniert in einem Leiter verlegt (PEN)

- ① leitfähiger Körper
- ② hochohmige Impedanz
- ③ Betriebs- oder Systemerdung  $R_B$
- ④ Körpererdung  $R_A$  (einzeln, in Gruppen oder gemeinsam)

TIP01\_11\_019\_DE

Abbildung 59: Netzformen im Niederspannungsnetz, Quelle: Siemens AG (2015), S. 33

Sternpunktbehandlung	Freier Sternpunkt	Erdschlusskompensation	Niederohmige Sternpunktterdung	
			Mit Impedanz	starr
Schaltung				
Ziel	Weiterbetrieb bei einem 1-poligen Fehler		Selektive Abschaltung eines 1-poligen Fehlers	
Bemessung	—	$X_D \approx \frac{1}{3 \cdot \omega \cdot C_0}$	$R \approx \frac{U_{nN}}{\sqrt{3} \cdot I_{k1}''} \ll \left  \frac{1}{3 \cdot \omega \cdot C_0} \right $	—
$Z_0/Z_1$	$\left  \frac{1/(j \cdot \omega \cdot C_0)}{Z_1} \right $	sehr hochohmig	20 ... 100	1 ... 5
Strom an der Fehlerstelle	$I_{CE} \approx j \cdot \omega \cdot C_0 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{nN}$	$I_{Rest} \approx j \cdot \omega \cdot C_0 \cdot (d + jv) \cdot \sqrt{3} \cdot U_{nN}$	$I_{k1}'' = \frac{c \cdot \sqrt{3} \cdot U_{nN}}{2 \cdot Z_1 + Z_0}$	
	$10 \text{ A} < I_{CE} \leq 35 \text{ A}$	$I_{Rest} \leq 60 \text{ A}$	$I_{k1}'' \leq 2 \text{ kA}$	$I_{k1}'' \leq 1,5 \cdot I_{k3}''$
Fehlerdauer	< 3 h	< 3 h	< 1 s	< 1 s
Formelzeichen	d = Dämpfungsgrad; v = Verstimmungsgrad; c = Spannungsbeiwert			

Abbildung 60: Netzformen im Mittelspannungsnetz, Quelle: Siemens AG (2015), S. 68

## **ANHANG 3: INTERVIEWLEIDFADEN**

### **1) Qualitative Umfrage**

#### **Teil 1 – zukünftige Entwicklungen**

**Frage 1:** Welche Trends beherrschen die aktuellen Entwicklungen der Energiewirtschaft und Energieversorgung, bzw. könnten in Zukunft aufkommen?

**Frage 2:** Was sind die Ursachen und wesentlichen Treiber dieser Trends?

**Frage 3:** Welche Chancen und Risiken sehen Sie in diesen Trends?

#### **Unterfragen:**

- **Welche Ausprägungen könnte der Trend XY in den nächsten 10 Jahren entwickeln?**
- Ist der Trend XY Ihrer Meinung nach auch ein Trend?
- Welche unterschiedlichen Entwicklungen könnte der Trend XY mit sich ziehen?
- Wird sich der Trend XY in den nächsten 10 Jahren eher verstärken oder abschwächen?
- Sehen Sie aufgrund der Entwicklung XY das neue Geschäftsmodelle entstehen?
- Welche wirtschaftlichen Auswirkungen gehen mit der Entwicklung XY einher?
- Welche Sozialen und Gesellschaftlichen Auswirkungen hat die Entwicklung XY?
- Sehen Sie aufgrund der Entwicklung XY politischen bzw. regulativen Handlungsbedarf?
- 

#### **Teil 2 – Technologien zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit elektrischer Energiesysteme**

**Frage 4:** Welche Technologien zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit sind Ihnen bekannt?

**Frage 5:** Welche Technologien könnten Ihrer Meinung nach in Zukunft eingesetzt werden und einen Beitrag zur Versorgungssicherheit leisten?

#### **Unterfragen:**

- Könnte die Technologie XY Ihrer Meinung nach auch eine wichtige Rolle spielen?
- Was muss passieren, damit sich die Technologie XY durchsetzt?
- Welche Risiken, aber auch Chancen bietet die Technologie XY?
- Welche Regulativen Maßnahmen müssen getroffen werden, damit sich diese Technologie durchsetzt?
- Welche Entwicklungen muss es geben, damit sich die Technologie XY durchsetzt?
- Was sind Ihrer Meinung nach Bewertungskriterien für die oben genannten Technologien, im Kontext der Versorgungssicherheit?
- Glauben Sie, dass wir die aktuellen Klimaziele ohne einen massiven Netzausbau hinbekommen?
- Wie bzw. mit welchen Technologien können die Netzkapazitäten bis zur Grenze ausgereizt werden?
- Welche technischen Herausforderungen sehen Sie in den nächsten Jahren auf uns zukommen?
- Was sind für Sie wesentliche Elemente der Versorgungssicherheit?
- 

#### **Gesamtheitlich**

- Beschreiben Sie bitte Ihr Best-Case Szenario des elektrischen Energiesystems für die kommenden 10 Jahre?
- Beschreiben Sie bitte Ihr Worst-Case Szenario des elektrischen Energiesystems für die kommenden 10 Jahre?
- Beschreiben Sie bitte das für Sie am realistischsten Szenario für die nächsten 10 Jahre?
- Welche Entwicklungen müssen eintreten, damit sich diese Szenarien erfüllen?



## ANHANG 4: TRANSKRIPTIONEN DER INTERVIEWS

**Interviewpartner:** EXP01

**Datum:** 07.11.2021

**Gesprächsdauer:** 33:05 Minuten

**Durchführung:** persönlich

00:00:02

*Interviewer:* Ja, lieber EXP1, danke dass du Zeit hast für das Interview. Du bist in der Geschäftsführung tätig, für einen regionalen Betrieb. Ihr macht regionale Energieversorgung und wisst, was ich in der Branche tut. Und da würde ich gerne die erste Frage kommen. Und zwar was für Trends seht hier aktuell auf euch zukommen bzw. beherrschen eure Branche.

00:00:34

*EXP01:* Grundsätzlich ist natürlich auch in jeder Munde, also momentan sowieso die Energiewende raus aus Öl, raus aus Kohle, Energieeffizienz Gesetz und natürlich derzeit ganz aktuell die Energiepreise Situation an den Börsen. Die nächsten Punkte, die natürlich für die Energieversorgung sehr wichtig sind, ist die CO2 Bepreisung und der CO2 Bepreisung folgt dann in Wirklichkeit auch die Energieeffizienz. Und dann soll man wirklich abschätzen können, wie effizient Energie eingesetzt wird. Aber man darf immer nicht nur die Energie bewerten oder bzw. quantifizieren, sondern das Wichtigste, dass sind auch andere Energieträger, wie der Verkehr und Gebäude, Heizungen und auch Gebäude Installationen. Die sollen wir ja nicht hinten anstellen lassen.

00:01:43

*Interviewer:* Sprichst du schon von "raus aus CO2" etc.? Wie ist es aktuell bei euch im Unternehmen? Habt Ihr sehr viele klimaneutral Energiequellen aktuell im Netz und habt ihr da viele Projekte in der Pipeline?

00:02:01

*EXP01:* Wir im Unternehmen haben jetzt derzeit natürlich auch von den primären alternativen Energien wie Sonne, Wind und Wasser sehr, sehr viele Projekte und wir bewegen uns im Jahre 2022 hin bis zu einer Eigenproduktion von erneuerbarer Energie zwischen 60 und 70 Prozent. Aber wie man sehen kann, ist natürlich diese hohe Energiepreis Situation in erneuerbaren Energien natürlich sehr volatil. Wir wissen ganz genau, Wind und Sonne kann man nicht sehr gut prognostizieren. Das einzige, wir haben auch sehr viele Wasserkraftwerke, die uns in der Grundlast natürlich sehr unterstützen, aber das Problem ist natürlich die die sehr, sehr hohe Volatilität von erneuerbaren Energien.

00:03:03

*Interviewer:* Okay, dass hast du auch vorher angesprochen, ihr betrachtete in der Energieeffizienz auch andere Bereiche, Wärme etc. Das ist euch auch wichtig. Wie schaut es da grundsätzlich aus? Was also aktuelle Entwicklung wie die Sektorkopplung, sprich ich benutze Strom zur Wärmeerzeugung, Wärme Speicherung, Wärmepumpen etc.. Ist das aktuelle Thema oder noch nicht so stark im Trend?

00:03:30

*EXP01:* Doch wir sind sehr sehr weit schon voraus, dass speziell aus diesem Thema raus Öl raus aus Kohle. Wir haben sehr viele Projekte mit Wärmepumpen und da sind wir wirklich Vorreiter, dass wir sehr

viele Anlagen mit Wärmepumpen versehen. Alle anderen zukünftigen Projekte wie Power to Heat oder Power to Gas ist in unserem Unternehmen noch nicht verankert.

00:04:03

*Interviewer:* Und wenn man die Sektorkopplung oder auch generell die die Energieeffizienz anspricht und den Kohleausstieg als zentrales Thema, denkt man ja auch an die Elektrifizierung von Verkehr. Wie sieht sie denn da? Ist es welcher Trend? Ist es aktuell wichtig oder ist es eher eine Randerscheinung?

00:04:22

*EXP01:* Durch die Elektrifizierung des Verkehrs? Natürlich. Wir haben ja schon seit ca. 15 Jahren Elektrofahrzeuge bei uns im Unternehmen, aber das ist natürlich in sehr kleinen Rahmen. Wir haben derzeit fünf Elektroautos, aber das ist sicherlich nicht ein sehr großes Ausmaß. Die komplette Situation mit der Elektrifizierung des Verkehrs ist natürlich bei uns oder geht bei uns natürlich neben vorbei. Aber wir sehen, dass bei uns auch hinterher in der Elektrifizierung der Eisenbahn, jetzt auch in unserem Bezirk als sehr großen Vorteil, um diese CO<sub>2</sub>-Ausstoss zu verringern.

00:05:12

*Interviewer:* Es sind eigentlich sehr viele von den aktuellen Entwicklungen, von der Klima Krise sozusagen getrieben und das auch durch die Klimapolitik von der Bundesregierung. Wenn ich das richtig verstanden habe, wie ist Energieeffizienz gesetzt? Wahrscheinlich aus dem Gesetz ja entsprechend betreffen. Gibt es aktuelle Entwicklungen? Was jetzt vielleicht nicht unbedingt etwas mit erneuerbarer Energie zu tun haben, Stichpunkt wirtschaftliche Entwicklung, wirtschaftliche Trends. Was tut sich da?

00:05:50

*EXP01:* Punkt 1 Wenn man sagt, dass Energieeffizienz Gesetz natürlich, die beruht wieder auf einen Beschluss der Regierung. Wir wissen für das Jahr 2022 noch nicht, wie das Energieeffizienzgesetz sich irgendwie in verschiedenen Maßnahmen niederschlägt. Da ist die Regierung noch sehr zurückhaltend bei dem Ganzen. Alle anderen klimaneutralen Gebiete dort sind wir schon in der Probephase, wie die berühmte Energiewende, dass jeder seinen eigenen Strom verkaufen kann. Ob das jetzt da eine Energie Gemeinschaft ist oder eine Bürgerbeteiligung. Da sind wir schon in der Probephase. Natürlich wir warten noch wie jedes Unternehmen auf die Ratifizierung des EAGs von Brüssel damit wir endlich einmal Gewissheit haben für die Zukunft. Wie schaut es aus? Punkt Marktprämien, Punkte Einspeisung. Das fehlt noch um weitere Schritte einzuleiten.

00:06:55

*Interviewer:* Du hast es schon angesprochen, da gibt es ja eigentlich neue Geschäftsmodelle, mit den Energiegemeinschaften etc. Ihr seid ja doch eher ein klassisches Unternehmen. Wie lange gibt es die XY schon, 110 Jahre oder?

00:07:11

*EXP01:* 113 Jahre

00:07:12

*Interviewer:* Ihr seid ja doch eher ein altes Unternehmen. Und es gibt doch immer mehr neue Player am Markt. Stichpunkt Energie Vermarktung, neue Geschäftsmodelle, virtuelle Kraftwerke etc., was jetzt immer

mehr in Richtung Privatkunden drängt. Seht ihr da irgendwo an Entwicklungen von wirklich neuer Konkurrenz für euch und springt Ihr auf diese neuen Geschäftsmodelle auf?

00:07:44

*EXP01:* Absolut nein. Wie du richtig sagst, also die virtuellen Kraftwerke. Wir sind ja schon seit sechs oder sieben Jahren bei virtuellen Kraftwerken beteiligt. Das heißt, unsere Wasserkraftwerke sind ja schon lange in dieser sogenannten positiven und negativen Regelernergie Bewirtschaftung dabei. Dort haben wir schon oder sind wir schon länger dabei, diese Energiewende zu versuchen abzuwenden. Da ja natürlich durch die Volatilität der der Erzeugung wir mit unseren Wasserkraftwerken das entgegensteuern können, die anderen Ziele wie private Player am Markt, was sich gerade jetzt weder in dieser Zeit mit dieser Energiepreis Situation jetzt am Markt sehen wir, dass wir wirklich schon längerfristig über diverse Beschaffungen denken. Die Player am Markt, die jetzt sind, haben natürlich große Probleme, weil die Vermarktung der Energie für die Kunden natürlich immer so ein langfristig dickes Produkt mit sich zieht und die neuen Player natürlich kurzzeitig an den Börsen Energie beschaffen. Und die haben jetzt natürlich große Probleme für ihre Kunden richtige Preise zu lukrieren.

00:09:18

*Interviewer:* Und andere neue Geschäftsmodelle setzen irgendwelche aktuellen Entwicklungen eben wie du angesprochen hast mit diesen Energiegenossenschaften ist das auch wirklich ein Thema für die Menschen. Wollen die das oder sind das eher nur Pilotanlage, Pilotprojekte? Oder macht ihr das schon im großen Stil?

00:09:37

*EXP01:* Wir haben jetzt ein Pilotprojekt. Starten wir jetzt. Das ist natürlich noch einmal wiederholt, das EAG noch nicht ratifiziert. Aber wir haben gesagt, wir möchten schon vorher, bevor diese Ratifizierung von der EU kommt, mit diesen Problemen oder beziehungsweise mit diesen Energiegemeinschaften, die natürlich auch Probleme hervorrufen, schon üben. Diese Energie Gemeinschaften sind natürlich für den, für den jeweiligen Prosumer, sprich ich habe eine Photovoltaikanlage im Dach und ich verkaufe das meinen Kindern. Natürlich ist das eine sehr gute Idee. Nur es muss natürlich der Netzbetreiber dort auch sämtliche Programme und sämtliches Know-How liefern. Wir üben bereits jetzt mit zwei kleinen Anlagen und das ist natürlich der große Wunsch der Bundesregierung, sprich auch vom Koalitionspartner Die Grünen. Diese Energiegenossenschaften zu forcieren oder die Bürger Gemeinschaften, die Bürgergemeinschaft ist überregional, Energie Gemeinschaft ist regional. Diese Themen einzuführen. Aber bis dorthin ist es noch ein langer Weg, weil die Überschuss Energie bei den einzelnen Photovoltaikanlagen, sei es eine private Photovoltaikanlage einer Kommune. Diese Überschuss Energie zu vermarkten ist sicherlich nicht einfach, aber es ist der große Zug, die große Zukunft für viele Leute, die sich nicht Photovoltaikanlagen am Dach installieren lassen können.

00:11:15

*Interviewer:* und angesprochen, dass mit der Energie direkt zu seinen Kindern schicken kann etc. da wird man nicht um euch herum kommen. Also Ihr seid immer irgendwo mit dabei, von der Partie sozusagen. Ist es wirklich ein großes Ziel, dass die Leute auch oder dass ich jetzt mit meiner Photovoltaik, meinem Sohn etc. Energie schicke oder ist das noch ein Fragezeichen?

00:11:45

*EXP01:* Es sind sehr viele Anfragen schon da, weil wir in der Vergangenheit Überschuss Energie sagen wir mal fast nichts wert war. Überschussenergie war eine Energie, die nicht sehr viel an monetären Ableitungen gebracht hat. Aber das ist natürlich eine sehr gute Sache. Nur man muss immer unterscheiden. Für solche Zwecke braucht man einen Netzbetreiber und der Netzbetreiber hat natürlich großen Aufwand, diese Verrechnung Modalitäten erst einmal in seinem eigenen Hause zu installieren und auch dann das den Kunden weiterzugeben, ist natürlich eine sehr große Herausforderung an den Netzbetreiber. Die Energie Händler sehen das natürlich ganz anders. Die Energie Händler sagen Okay, das ist zu machen. Wie es Schlussendlich heißt, die Rechnung geht ohne den Wirt nicht auf. Und in dieser Sache ist der Wirt der Netzbetreiber.

00:12:47

*Interviewer:* Wir haben doch schon sehr viele Punkte von der Frage 2 im Interview mit beantwortet. Was sind so die wesentlichen Ursachen? Treiber der vorher angesprochenen Trends? Wenn ich das jetzt recht kurz zusammenfassen darf, es ist sehr viel vom erneuerbaren Ausbau Gesetz, Energieeffizienzgesetz getrieben, und sehr viele politische Regularien und Gesetze. Siehst du da noch irgendwelche anderen Treiber für diese Trends?

00:13:20

*EXP01:* Und man braucht nur jetzt nach Paris schauen. Fridays-for-Future die Jugendlichen haben wirklich recht. Aber es ist wirklich sehr schwierig, die Klimapolitik und auch die Wirtschaft in Einklang zu bringen. Weil es gibt so viele, so viele Sprüche wie heißt ohne Wirtschaft geht nichts. Aber was nutzt es, wenn aufgrund von Umwelteinflüssen, die Firmen nicht mehr produziert können? Also dieser Spagat zwischen Klimapolitik und Wirtschaftspolitik wird uns noch sehr, sehr lange beschäftigen. Es wird auch nicht sein, dass man jetzt hergeht, so wie es bei uns jetzt momentan ist, die CO2 Bepreisung. Derzeit liegt die CO2 Bepreisung bei 30 Euro. Auch wenn dies das Doppelte ist, die Firmen werden produzieren müssen und die Firmen werden aber diese erhöhten Umweltkosten, sprich in der Klimapolitik die CO2 Preise oder die erhöhten Strompreise natürlich weitergeben, auch an den Endverbraucher.

00:14:23

*Interviewer:* Zu den allgemeinen zukünftigen Entwicklungen, wo siehst du da konkrete Chancen, aber auch Risiken aufgrund der aktuellen Entwicklungen?

00:14:45

*EXP01:* Die Kernaussagen, da brauchen wir gar nicht weit schauen. Wir merken, dass diesen Klimawandel auch bei unseren eigenen Wasserkraftwerken bei uns im Bezirk. Wenn man bedenkt, dass sehr viele Wasserkraftwerke stehen, heuer bei uns still und das kann man nicht irgendwie runter reden und sagen, das hat mit Klimawandel nichts zu tun, sondern wir merken, dass eigentlich die Regenfälle und speziell im Süden der Steiermark abnehmen werden. Das ist natürlich das große Problem. Überregional oder Weltgeschehen ist natürlich die Erhöhung der Erwärmung von ca. 2 Grad. Um das in den Griff zu bekommen, bedeutet natürlich einen Schulterchluss mit der ganzen Welt. Österreich respektive Europa allein hat sicherlich nicht die Klimaziele in der Hand, um diese großen Umweltrisiken in den Griff zu bekommen.



00:15:53

*Interviewer:* Vielleicht auch zu den Chancen und Risiken der Energiewende. Wie siehst du jetzt diese Entwicklungen, natürlich die Klimakrise wahrscheinlich eher negativ, aber vielleicht Entwicklungen, die dadurch folgen, mehr Ökostrom, mehr Photovoltaik, mehr Windkraft, E-Autos, sind da eher positive Entwicklung oder eher Negative. Seht ihr da eher Chancen oder Risiko?

00:16:26

*EXP01:* Es ist heute immer wieder anzuschauen, dass wo ich Vorteile habe, habe ich Nachteile. Diese Energiewende, die betrieben wird. Jetzt noch einmal raus aus der Kohle, raus aus Gas, raus aus Atom hat natürlich sehr viele andere Faktoren mit sich und einfach zu sagen Okay, wir steigen aus der Kohle, wir steigen aus Atom aus. Das wird es nicht spielen in Zukunft. Und auch die modernen Gaskraftwerke müssen quasi immer Standby gefahren werden, um die Energiewende zu bewerkstelligen. Die Energiewende ist natürlich eine riesengroße, riesengroße Aufgabe für die Unternehmen, aber auch riesengroße Chance. Aber wie gesagt noch immer jede Chance verbirgt, auch irgendwo im Hintergrund "Ich muss was tun für diese Chance". Und dieser nochmalige Schulterschluss zwischen Klimapolitik und Wirtschaftspolitik ist sicherlich nicht einfach zu bewältigen.

00:17:33

*Interviewer:* Und wie immer vorher nur kurz angesprochen diese neuen Geschäftsmodelle, was euch und euren Endkunden zur Verfügung stehen, mit diesen Energie Gemeinschaften, seht ihr das jetzt eher positiv oder negativ? Ist das jetzt eher eine Chance für euch damit Ihr neue Marktfelder eröffnet.

00:17:54

*EXP01:* Es sind natürlich jedes Marktfeld, so wie jetzt die komplette Energiewende sehen wir im Unternehmen sehr positiv. Wenn ich nur bedenke, also die Zunahme der der Bereitschaft der Kunden Luft Wärmepumpen einzubauen, Photovoltaikanlagen aufs Dach zu bauen, weg von den alten Ölheizungen und wenn es nur ein Pelletofen ist, die heute sehr groß gefördert werden von der Regierung, ist gut für die Energiewende. Aber wir sehen natürlich immer dann diesen ganzen Strom, den wir dorthin liefern müssen, uns und sollen der muss auch erzeugt werden. Und der soll aber auch rund um die Uhr erzeugt werden. Und nicht nur, wenn der Wind oder die Sonne scheint. Das ist das große Problem und das wieder quasi und einen gemeinsamen Nenner zu bringen. Dann kommt man wieder über diese Regelenergie. Abwürfe und diese ganze Problematik mit diesen neuen Technologien wird in Zukunft noch eine Riesenherausforderung sein.

00:19:04

*Interviewer:* Stichpunkt Technologie, wenn man da vielleicht so zu den nächsten Themenblock gehen. Was für Technologien verwendet ihr, um die Versorgungssicherheit in einem Netz aufrecht zu erhalten?

00:19:17

*EXP01:* Das Wichtigste ist wohl Gott sei Dank. Wir haben unsere Netze nicht nach dem Verbrauch in der Vergangenheit aufgebaut, sondern wirklich mit sehr sehr vielen Reserven. Diese Reserven liegen im sogenannten Verteilnetzbereich, aber im Übertragungsnetz sehe ich jetzt wieder Österreichweit sehr viele Lücken, die geschlossen werden müssen, um quasi die Versorgungssicherheit aufrecht zu halten. Diverse Speichertechnologien sind im Einsatz, werden von diversen Kunden eingesetzt. Ist aber noch wirklich, ich nenne die Speichertechnologie da in den privaten Haushalten ist noch wirklich in den Kinderschuhen.

Speichertechnologie, sprich Kraftwerke, die mit großen Speichern behaftet sind, sind natürlich ganz wichtig. Aber vom großen Ziel der Versorgungssicherheit ist das Hauptaugenmerk auf die Regelenergie, auf die sogenannte positive und negative Regelenergie zu legen. Damit, wenn zu viele Energiemärkte oder zu wenig Energiemarkt ist, dieses auszuregeln ist. Alle anderen verschiedenen Technologien wie Power to Heat, Power to Gas sind gut am Markt, aber noch immer zu wenig, um eine Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

00:20:47

*Interviewer:* Andererseits ist die Fragestellung, du hast es schon angesprochen, habt Ihr jetzt Kraftwerke wirklich mit Energiespeichern ausgestattet? Und die Frage 2 zum Stichpunkt Regelenergie, seid ihr auch am Regelenergiemarkt aktiv und mit was für Technologien?

00:21:09

*EXP01:* Wir haben natürlich am Regelenergie Markt sind wir hauptsächlich mit der Wasserkraft. Wir haben Wasserkraftwerke, die keinen Speicher im Oberliga haben, sondern Wasserkraftwerke, die nur Laufkraftwerke sind. Dort arbeiten wir mit der negativen Energie. Das heißt, ist zu viel Energie am Markt, dann werden diese Kraftwerke abgeschaltet. Wir haben auch Wasserkraftwerke mit einem Speicher. Dort ist es so, dass diese Speicher dienen, auch wenn zu wenig Energie am Markt ist oder zu viel. Das ist einmal wieder Speicher entleert oder sonst auch abgeschaltet. Bei allen anderen Energieträgern wie Photovoltaikanlage und Wind können wir nur runter regeln. Das heißt, wenn zu viel Energie am Markt ist, können wir die Photovoltaikanlagen abschalten bzw. reduzieren. Und auch die Windenergie kann reduziert werden. In verschiedenen Dekaden Sprüngen, aber ganz ausschalten dürfen wir sie nicht.

00:22:14

*Interviewer:* Okay, das ist vielleicht zu kurz zusammengefasst Die wesentliche Technologie sind Verteilnetze und die Übertragungssysteme, welche entsprechende Kapazitäten haben müssen. Andererseits die Regelenergie, um Systemstabilität zu gewährleisten. Wie schaut es grundsätzlich aus mit anderen Technologien? Wenn man bei den Regeleinrichtungen ist, zum Beispiel regelbare Trafos. Ist das Thema aktuell oder eher noch nicht?

00:22:43

*EXP01:* Nein. Also regelbare Trafos sind ja bei uns nur dann in Einsatz, wenn wir Probleme haben, weil Netze Ausläufern mit volatiler Einspeisung. Das heißt, dass er diese Versorgungsspannung ändert sich sehr stark über das sogenannten Toleranzband hinaus. Also diese Probleme bei den Ausläufern haben wir derzeit noch nicht.

00:23:06

*Interviewer:* Okay, und auch zu dem Thema noch zu Regelenergie, wie es aus mit diversen Systemen Dienstleistung was ihr bringen müsst. Gibt es irgendwelche Technologien für euch? Das man sagt zum Beispiel, dass der Kunde jetzt die Dienstleistung erbringt, dass der Kunde z.B. ein Großkunde seine Anlagen außer Betrieb nimmt, um dort am Energiemarkt teilzunehmen.

00:23:38

*EXP01:* Es gibt Modelle von der E-Control. Das nennt sich dann in den Netzentgeld 2.0, wo auch verschiedene Unternehmen. Ich sage mal stark Verbraucher wegschalten können oder zuschalten können.

Aber das ist natürlich noch nicht vertraglich festgelegt. Die E-Control versucht das jetzt in den sogenannten Netzen, in den sogenannten System-Nutzungs-Tarifen das abzubilden, dass die Leistungskomponente dort immer einen größeren Stellenwert erfährt, um jetzt den Kunden das wirklich auch preislich lukrativ zu machen. Schalte ich jetzt was ab oder schalte ich was dazu? Aber das sind natürlich alles noch Technologien, die in den Kinderschuhen stecken.

00:24:32

*Interviewer:* Habt Ihr mehr Großkunden oder Haushaltskunden im mehr Unternehmen. Das ist die Frage und vielleicht auch weiterführend zu der Frage, wie schaut es aus mit dem Monitoring für die Kunden?

00:24:45

*EXP01:* A Grundsätzlich. Wir sind froh, dass wir zirka 60, 70 Prozent Haushaltskunden haben. Die sind einfacher zu händeln. Die Großindustrie im Raum wird von der Energie Steiermark, also vom steirischen Stromerzeuger, versorgt. Unsere größten Kunden liegen in etwa bei drei GWh. Aber alle anderen größeren Firmen werden von Übertragungsnetzbetreiber zu verteilten Netzbetreiber beliefert.

00:25:21

*Interviewer:* Und die Haushaltskunden haben schon Anspruch auf das Thema Energiewende und mehr erneuerbare Energien. Man sieht sie über die Dächer voll mit PV-Anlagen zu gedeckelt werden. Wie schaut es aus, merkt das Netz und betreibt da aktiv Technologien, damit man das in Griff kriegt also diese volatile Einspeisung?

00:25:47

*EXP01:* Grundsätzlich ist es so, dass der Netzbetreiber eine sogenannte Versicherungspflicht hat. Das nennt man Kontrahierungsabnahme. Das heißt, wir müssten laut Ökostromgesetz Energie abnehmen, aber nur zum technisch geeigneten Netzanschluss. Das ist klar. Wir haben verschiedene Anlagen schon, müssen auch absagen, da die Niederspannungsanlage für diese Photovoltaikanlagen nicht mehr stark genug waren und der Kunde dann natürlich nicht bereit ist, diese Kosten für die Verstärkung zu tragen.

00:26:25

*Interviewer:* Das heißt im Prinzip, das Ihr schon im Vorhinein Überschüsse dadurch vermeidet, dass Ihr Sie gar nicht ans Netz anschließen, bzw. das Netz verstärkt?

00:26:36

*EXP01:* Das heißt das, es gibt genug genügend Straßen. Sie wissen ganz genau wann eine Photovoltaikanlagen am Dach ist. Der Nachbar will das haben und das ist wie ein Pingpong Effekt. Aber es gibt auch Grenzen in der Versorgungssicherheit und Versorgungsqualität. Das heißt, wir können nicht alle Anlagen übernehmen, außer der Kunde ist bereit, Geld in die Hand zu nehmen und den Netzanschluss zu verlegen.

00:27:03

*Interviewer:* und mit dem erneuerbarer Energieausbaugesetzt. Ihr seid auch nicht verpflichtet, dass Ihr den Kunden dann wirklich einen Netzanschluss gewährleisten müsst?

00:27:13

*EXP01:* Wir müssen schon, aber den Netzanschluss geben wir vor. Das heißt es tut uns leid. Wir sind hier jetzt am Ende mit der Kapazität natürlich. Das ist immer eine sehr, sehr diffizile Frage, weil wer ist der

letzte? Und da haben wir jetzt unsere Kunden Management so umgestellt, dass wirklich genau minutiös die Eingänge bei uns verbucht werden, damit ja nicht irgendwo eine Diskriminierung der Netzkunden hervorgerufen wird wegen der Anschlüsse. Aber wenn der Kunde unbedingt darauf beharrt, er möchte seine Anlage einspeisen, dann. Können wir ihm den geeigneten Netzanschluss geben, der natürlich auch vom jeweiligen Kunden finanziert werden muss.

00:28:00

*Interviewer:* Und wer das für euch ein Thema, wenn der Kunde z.B. einen Batteriespeicher hat und ich habe die Möglichkeiten, durch ein Monitoring und gezieltes Eingreifen in der Anlage Überschüsse zu verhindern. Wäre das theoretischer für euch ein Thema, dass man sagt Okay, ich muss das Netz jetzt nicht verstärken. Der Kunde kann sich anschließen und mit entsprechenden Technologien kann ich diese Überlastung von meinem Netz verhindern.

00:28:29

*EXP01:* Okay, also bei den Haushaltskunden sind diese Überlegungen mit Speicher und ein Eingreifen in seine Erzeugung, die sind noch nicht gesetzlich und rechtlich abgedeckt. Außer bei den größeren Anlagen, die wir sehr viel haben, sind wir schon aufgrund der Netz Zugangs Verträge, wo dort die Reduzierung der der eingespeisten Leistung verankert ist. Und dort haben wir auch einen rechtlichen Rahmen. Das heißt, wir können Wind und Photovoltaikanlagen, wenn es zu massivem Netz übers Netz Überschüsse kommt, können wir diese Anlagen kurzfristig reduzieren vom Netz.

00:29:14

*Interviewer:* Okay. Und bei den Privatkunden ist es noch kein Thema und wird in Zukunft nicht so relevant werden?

00:29:20

*EXP01:* Könnte sein, dass es aufgrund der nächsten Novellierung des Energieausbeute Gesetzes. Vielleicht ist drinnen, dass auch Privatkunden Teil an dieser sogenannten Netz Light Management haben, wird sicherlich kommen.

00:29:37

*Interviewer:* Und wenn man schon in die Zukunft schauen immer zu Frage 5 kommen Welche Technologien könnten in Zukunft eine relevante Rolle spielen? Wie siehst du das? Also sind für dich Technologien, welche vielleicht in Zukunft mehr an Relevanz gewinnen könnten. Aufgrund der aktuellen Entwicklungen?

00:29:55

*EXP01:* Das Wichtigste ist natürlich man braucht nicht nur nach Europa schauen, man kann das auch bei uns in Österreich sehen. Wichtig ist es, die über Übertragungsnetze ausgebaut werden. Das heißt, es ist natürlich sehr schwierig heutzutage aufgrund diese ganzen Einsprüche starke Leitungen zu bauen. Und auch der Prozess vom Beginn der Planung bis zur Fertigstellung dauert so viele Jahre. Und das sehen wir im Unternehmen auch als größte Gefahr in der Energiewende, wie auch so ein Blackout, wie man das jetzt nennt, auch. Weiters ist natürlich die Zukunft die Regel Energietechnik. Es wird nicht geben, dass Gaskraftwerke vom Netz genommen werden. Genommen können man Kohlekraftwerke ja, nein, Atomkraftwerke ja aber, aber es wird so sein wer regelt eigentlich die Volatilität am Markt? Das sind Gaskraftwerke und Wasserkraftwerke. Und das sind eigentlich die wichtigsten Faktoren, um die

Versorgungssicherheit in einem europäischen Netz, so wie es bei uns ist, gewährleisten zu können. Und da braucht es wirklich sehr viel Zusammenarbeit mit den Bund Ländern und auch mit den Privaten, damit diese Übertragungsnetze oder die Netze allgemein ausgebaut werden können.

00:31:23

*Interviewer:* Na super. Und vielleicht jetzt ganz abstrakt denkt und sich welche Technologien anschaut, ist vielleicht jetzt mal gar nicht so gibt und eingesetzt werden. Fällt dir da irgendetwas ein, was ihr eventuell überlegen könnte einmal einzusetzen? Gibt es da irgendwo Stichpunkt Übertragungsnetze von den wichtigsten dem was du ansprichst? Da gibt es Entwicklungen wie zum Beispiel Supraleiter, etc. Da ist es für die nächsten zwei Jahrzehnte ein Thema.

00:31:58

*EXP01:* Allein wenn man denkt, die Supraleiter gibt es ja schon, gibt es ja schon da in der in der Jahrhundertwende schon hat man das über dieses Thema. Es ist sicherlich nicht finanzierbar, aber es gibt ja sehr viele andere Möglichkeiten. Auch wir haben überlegt, mit der mit dem Ausbau unserer großen Photovoltaikanlage auf eine Wasserstoff Technologie umzusteigen. Für uns als mittleres Unternehmen sind natürlich die Projektkosten da noch nicht vertretbar gegenüber dem Einsatz. Die nächste Sache ist auch, dass Power to Heat theoretisch natürlich in großen Ballungszentrum, wo man die Möglichkeit hat mit den Überschuss Energie wenig Wärme zu erzeugen, Fernwärmenetze und diese dann wieder zurück einzuspeisen. Aber es sind in unseren Kreisen nicht sehr viele Technologien effizient einzusetzen, um quasi diese Versorgungssicherheit gewährleisten zu können.

00:33:05

*Interviewer:* Dann sage ich mal Danke fürs Interview gerne.

**Interviewpartner:** EXP02

**Datum:** 26.11.2021

**Gesprächsdauer:** 28:35 Minuten

**Durchführung:** via MS Teams

00:00:09

*Interviewer:* Passt, dann kanns auch schon losgehen. Ähm ja danke noch mal, dass Sie Zeit für das Interview gefunden haben. Haben Sie den Fragebogen offen? Oder haben Sie diesen schon mal angeschaut? Super, perfekt. Also die erste Frage wäre "Welche Trends beherrschen Ihrer Meinung nach aktuell die Entwicklungen in der Energiewirtschaft und in der Energieversorgung"?

00:00:29

*EXP02:* Das sind die großen Megatrends, die Dekarbonisierung, Demokratisierung des Energiesystems generell und in Richtung der der Stromwirtschaft sozusagen, ist tatsächlich diese Dezentralisierung mit einer Vielzahl von, sowohl neue Arten von Verbrauchseinrichtungen als auch Erzeugungseinrichtungen auf allen Spannungsebenen und heute speziell den untersten Spannungsebenen und auch wieder sehr stark die Leistungselektronisch angebundene Komponenten auch wieder sowohl Erzeugung als auch Verbraucher.

00:01:11

*Interviewer:* Das heißt von Ihrer Seite aus findet die Dezentralisierung eher im industriellen Bereich oder im privaten Haushalt statt?

00:01:21

*EXP02:* Sowohl als auch. Vor allem wirtschaftlich getrieben vom Industrie Bereich, mit einer Eigenerzeugung reinfahren, mit auch zu erwartenden steigenden Stromkosten, Treiber und Ähnliches und mit ein bisschen Verzögerung im privaten Bereich. Und da wird jetzt der politische Rahmen ergibt mit Erneuerbaren Ausbaugesetz wird ja zusätzlich gepusht auf der europäischen Seite eher mehr werden. Das heißt, was ist die Herausforderung? Es gibt ja auch zukünftig wahnsinnig viel mehr Akteure, die aktiv partizipieren an dem Ganzen. Das ist die große Challenge.

00:02:00

*Interviewer:* Für Sie ist die aktive Teilnahme ein wichtiges Thema und auch ein Trend sozusagen. Dass man wirklich sagt nicht mehr der Konsument, sondern der Prosumer.

00:02:11

*EXP02:* Genau das ist ein Trend.

00:02:17

*Interviewer:* Also sprich das ist sozusagen die Demokratisierung des Energiesystems. Da gibt es auch dieses Projekt Blockchain-Grid. Ähm, was wir genau dieses Thema anspricht, dieses Be-To-Be-Trading. Wie würden Sie das beurteilen? Ist das jetzt schon Stand der Technik oder ist das eher in den Kinderschuhen? Wird es in Zukunft kommen?

00:02:47

*EXP02:* Wird in Zukunft kommen! Steckt absolut in den Kinderschuhen, auch wenn es um die Energie

Community so großes Thema ist. Obwohl ich glaube das wird langsam von oben nach unten durchdringen auf die Spannungsebenen, dass diese mehr gibt. Und die 7er Ebene ganz unten ist die große Herausforderung. Um das aktiv zu steuern und aktiv zu ermöglichen, braucht es irgendwo ein Monitoring oder genauere Aufzeichnung, um dann auch tatsächlich zu erkennen, welche Auswirkungen, welche Wirkungen, welche Korrekturen eintreten. Das heißt, es bräuchte um Automatisierung plus Monitoring auf diesen Spannungsebenen. Und das ist erstens noch nicht gegeben und zweitens. Auf der Netzebene 7 im Speziellen ist heute sehr viel Unsicherheit und die Unwissenheit groß. Was passiert da? Was kann man überhaupt machen? Die Gesetze sind gerade erst rauskommen. Wir haben eine Arbeit am Laufen XY Smart Grids, wo man sich anschaut, wie man so etwas Netzfrendlich gestalten kann. Und das ist genau das Thema, wie Netzpolitik gestalten ist, ob es überhaupt welche Auswirkungen das hat und wie das Resultat ist in Richtung Netzfrendlichkeit. Auf der anderen Seite Rechtliches doch eine juristische Person und das konnte lange Rede kurzer Sinn ist drei oder wir sehen drei Phasen. Zum Ersten die Early Adopters klassisch in Richtung Innovationen. Da lernen wir einmal. Mit dem Lernen muss ganz sicher einmal der rechtliche Rahmen und die Technologien in den nächsten zwei, drei, vier Jahren angepasst werden. Und mit dem Korrektiv ist vielleicht auch dabei, in fünf bis zehn Jahren zu erwarten, dass sie das größer umsetzt. Aber jetzt müssen noch mal die ersten finden, die daran scheitern und dann verbessern. Und die drei Phasen in der Technologieplattform ist die Lernphase und die Verbesserungsphase und der massentaugliche Roll-Out Geschichten. Denn im Endeffekt was es braucht sind Plug-and-Play Geschichten. Das muss billig sein, angeschlossen und funktionieren. Und ich weiß nicht mit wie vielen Leuten sie gesprochen haben, die Versuchen Prosumer zu sein und zu werden. Selbst nur für die Eigenbedarf Deckung, wenn man kein wahnsinnig technischer Nerd ist, scheitert man daran.

00:05:14

*Interviewer:* Das stimmt, das hab ich leider auch schon erfahren müssen. Es ist nicht ganz so einfach. Das heißt, Sie haben es auch angesprochen? Was ich jetzt so verstanden habe, was hier sehr mitspielt ist die Digitalisierung sozusagen mit den Monitoring Systeme wahrscheinlich auch in Zukunft mehr, dass ich die Smart Meter nutze?

00:05:37

*EXP02:* Genau!

00:05:37

*Interviewer:* Und da wird wahrscheinlich auch dann das Ganze von den juristischen Rahmenbedingungen von den Regularien abhängen. Wie das Ganze gestaltet wird. Sie sind hier eher mehr in der Technik. Aber wenn wir uns kurz anschauen mit den Regularien und den juristischen Rahmenbedingungen. Sehen Sie da eher eine Verschlechterung oder Verbesserung?

00:06:02

*EXP02:* Eine Verbesserung wovon?

00:06:08

*Interviewer:* Das es für Techniker, aber auch für den Konsumenten leichter wird und oder eher schwieriger.

00:06:15

*EXP02:* Es wird leichter. Es ist schon leichter, es wird leichter, weil ich mich sehr viel mit dem Rahmen

beschäftige und Job ist schon von Gesetzen abhängig. Und man sieht auch mit dem Erneuerbaren Ausbaugesetz, das Vieles ermöglicht wird, vieles erleichtert wird, aber mit einem vereinfachten Netzzugang und dergleichen. Gleichzeitig gehen aber die Diskussionen in Richtung, wenn man den Bogen zur Spannungsqualität bringen, dass da tatsächlich die Monitoring Anforderungen a bisserl strenger werden, als sie bis jetzt gelten, weil der Spannungsqualitätsbericht mit ein bisschen Monitoring zeitlich begrenzt, und man kann sich aussuchen, wo man misst, wird auch nicht nachhaltig und zukunftssträftig sein. Ich glaube beides einhergehend wird hochgefahren und ich sehe, dass sich das auch in einem guten Weg verbessert. Aber wir wissen alle, dass regulatorische logistische Anpassungen bisserl Träger sind als manchmal Innovationen sind, was aber im Sinne von elektrische Energiesysteme mit der langen Innovationszyklen und der hohen und der langen Investitionen, die wir haben. Meine persönliche Meinung ist die bremsende Wirkung gar nicht so schlecht, weil massenhaft im Netz was loslassen und dann zwei Jahre später draufkommen das ist ein Riesenproblem. Man muss dann korrigieren wäre eine große Herausforderung. Und dann nehmen ich immer gerne das Beispiel mit dem vor einem Jahrzehnt, der mit dem 50,2Hz in Deutschland wo man sagt dezentrale Energieversorgung sollen bei jedem kleinsten Problem vom Netz wegschalten und da waren auch die 50,2Hz und alles weg. Nur dann haben wir von Gigawatt in Europa an Leistung. Das Regulativ war weg beim kleinsten Problem, aber genau das verursacht das gegenteilige Problem. Und da ist halt innerhalb von wenigen Jahren massiv was gekommen. Und das Regulativ oder das hat da nicht so Recht darauf reagiert. Und da muss man korrigieren. Und das ist genau das, was ich glaube, dass das auch weiterhin noch gut funktionieren wird, dass das gemeinsam hochgefahren wird. Oft ist halt das Politische und das Persönliche die Erwartungshaltung, aber schneller als so ein System reagiert und da sehe ich jetzt auch mit der Prosumer Geschichte, da wird oft marketingmäßig schon das Massivste versprochen, ohne dass man einen genauen Plan hat, was heißt das für die Involvierten.

00:08:45

*Interviewer:* Sie sprechen noch einmal die Geschichte mit dem Prosumer an und mit dem Marketing. Was glauben Sie, sind eigentlich die Ursachen? Warum möchten das die Leute jetzt, also Prosumer sein? Was glauben Sie steckt dahinter?

00:09:03

*EXP02:* Zwei Linien eigentlich, wie Umfragen immer wieder sagen einerseits tatsächlich die Welt retten wollen, ein bisschen so ganz einfach so salopp und natürlich die die wirtschaftlich agieren, weil sie einen Business-Case dahinter sehen. Je gewerblicher das wird, Umso mehr ist das und da ist halt momentan die Herausforderung, mit den extrem günstigen Strom und Energiepreisen, die wir haben, dass sich was in den wenigsten Fällen rechnet. Dass man dann bei vielen die Enttäuschung kommt, wenn Sie dann schauen, was muss ich investieren und bekommen ich heraus, ist weniger beim reinen Erzeuger. Wenn man möglichst viel Strom selbst nutzen kann, ist das eh schon wirtschaftlicher. Nur wenn ich sage, wir müssen alles miteinander verbinden, werden die Kosten gleich viel größer als die möglichen Erlöse. Und dann gibt es halt den Teil der Welt der sagt ich will Gutes tun, einfach meine eigene Energie erzeugen. Einerseits die Welt retten, andererseits das Autonomie Bedürfnis stillen. Diese beiden Schienen gibt es, rein marktwirtschaftliche und ein bisschen mit der Welt retten. Ich mach da gerne den Vergleich und die Analogie zur sozialen Nachhaltigkeit im Lebensmittelbereich, dass der Trend dahin geht. Ich weiß, wo es



herkommt, regional, Bio sozusagen. Der Bauernmarkt ums Eck und das ist ein bisschen ein Treiber der Leute.

00:10:32

*Interviewer:* Sehen Sie sonst noch andere relevante Trends auf uns zukommen oder sagen Sie das sind so die relevanten aktuell?

00:10:38

*EXP02:* Die haben wir eh schon abgedeckt und Sie schon angesprochen.

00:10:42

*Interviewer:* Passt super, wenn wir dann zu den Technologien kommen. Da haben Sie schon einige Technologien angesprochen. Was sind die wichtigsten Technologien in den nächsten 10 bis 15 Jahren, damit die Versorgungssicherheit gewährleistet werden kann? Bzw. zumindest auf dem gleichen Niveau wie jetzt gehalten werden kann?

00:11:09

*EXP02:* Ja, genau, wir sind ja auf einem hohen Niveau, das wäre die Antwort von der E-Control. Eigentlich würde ich mich ziemlich beschränken auf Nutzung der Möglichkeiten, welche durch Leistungselektronik Komponenten gegeben sein werden. Wie man zum Beispiel sieht beim PV-Wechselrichter. Das musst du regeln, um irgendwas vielleicht sogar in einen harmonischen Bereich mit aktiver Filterung, also für mich beschränkt es eigentlich mehr auf Nutzung der Möglichkeiten der Leistungselektronik Technologie und das wird sicher auch tendenziell in Richtung der Verbraucher gerichtet, der Verbraucher auch entwickeln und ich weiß nicht wie sie mit der ganzen technischen organisatorischen Regeln (TOR) vertraut sind und die TOR Erzeuger. Und es gibt ja dann die die TOR Netze und Lasten, die gerade in der Überarbeitung ist. Und allgemein ist die Erwartungshaltung, dass was ich von Netzbetreiber gehört hat, dass es den Anforderungen, die jetzt an Leistungselektronik gekoppelte Erzeugung Anlagen gegeben sind im Sinne von Netzstützenden Maßnahmen, dass das mittelfristig auch für Verbraucher Anlage kommen wird, beginnend mit höheren Spannungsebenen durch das Netz, da die E-Ladestationen dann auch solche Funktionalitäten drinnen hat. Also da stellt sich Technologisch das es einfach die Möglichkeiten der Leistungselektronik, die gegeben sind. Und das ist aber gleichzeitig natürlich auch immer ein Treiber und war immer Treiber der Leistungselektronik von Komponenten, weil am Anfang hat es geheißen, das sind die Störenfriede und jetzt tragen sie zur Lösung bei. Und das sind dann aber auch Effekte zu beobachten sein in Richtung der Versorgungssicherheit wieder auf der technologischen Seite und auf andere Effekte im Frequenzbereich auftreten, die jetzt vor der Versorgungsqualität und vor der Spannungsqualität nicht erfasst sind. Weil man einfach in extrem hohen Frequenzen sind, also Richtung 150kHz, die ganzen Superharmonische, plus dann Zwischenharmonische, man weiß noch nichts, es misst ja keiner, logisch. Aber das ist das, wo wir sagen Okay und damit im wissenschaftlichen Umfeld damit sollte man sich frühzeitig beschäftigen, dass man nicht nur auf das jetzt bekannte und durch die EN 50160 abgedeckte Bereiche konzentriert, sondern wo könnten neue Phänomene auftreten, die vielleicht an uns vorbeilaufen, weil sie einfach normativ und messtechnisch erfasst sind. Also was ist, wenn es wieder zwei Dinge vermischt mit Leistungselektronik als Lösung, aber aufpassen, dass man da nicht was hin verdrängen in Bereiche die da nicht erfasst werden.

00:13:51

*Interviewer:* Also weil Sie nicht messbar sind, aktuell zumindest?

00:13:56

*EXP02:* Genau und das ist auch Richtung Anforderungen an die Spannungsqualitätsmonitoring, da sollten wir frühzeitig darauf schauen, dass man da nicht den Zug verpasst und in irgendein Problem reingeredet, dass man dann erst merkt, dass es ein Problem ist.

00:14:06

*Interviewer:* Wenn ich da kurz einhacken darf, ich habe jetzt genau das gleiche Thema gehabt bei einem Kunden. Da hat der Planer eine perfekte superklasse Powerquality-Messung ausgeschrieben und die Wandler für die Messung waren einfach so teuer, da spricht man von mehreren tausend Euro. Und da hat der Kunde gesagt, nehmen wir klassische Messung bis zu 63 harmonischen und fertig.

00:14:31

*EXP02:* Da sind wir noch sehr im wissenschaftlichen Bereich und da sind wir mit Kosten drinnen.

00:14:44

*Interviewer:* Im Prinzip kann man sagen, vor allem im Leistungselektronik und die zusammengefasste vielleicht auch diese zur Erbringung eigentlich von System Dienstleistungen. Das ich sage mein Kunde der Prosumer der muss mir in Zukunft gewisse Systeme Dienstleistung erbringen, dass er mir eine gewisse Frequenzhaltung / Spannungsregelung erbringt, vielleicht Last Abschaltungen?

00:15:07

*EXP02:* Genau. Und da ist jetzt die Fragestellung ist immer wieder der Kontext diskutiert wird aber für die Arbeit vielleicht nicht so wichtig ist ja die Ansätze ist es einfach verpflichtend bei der Netzanschluss Bedingungen aber natürlich versuchen viele Kräfte der politischen Kräfte zu sagen, irgendwo müssen wir die Marktwirtschaft reinbringen und da vielleicht auch Dienstleister definieren. Ich sag gleich vorweg, ich bin ein befürworte, dass wenn man so in Richtung der Versorgungssicherheit und es geht um die Qualität eines Produktes wird im Endeffekt mit dem Strom dann werden durchaus eher in Richtung verpflichtende Maßnahmen und unentgeltlich sinnvoller, so wie es bis jetzt war auf der Erzeugerseite.

00:15:49

*Interviewer:* Es gibt da so Ideen Richtung Smart Grids mit Bereitstellung von Neztkapazitäten etc. Wirklich auf die Verbraucher Seite wird, wird das dann wahrscheinlich nicht so relevant werden?

00:16:06

*EXP02:* Hallo! Ich hab sie jetzt verlorene Zeit, 50 Sekunden waren weg, kann wahrscheinlich an der Bandbreite liegen.

00:16:17

*Interviewer:* Kann sein, ist leider bei mir aktuell auch nicht so gut. Okay, ich wollte noch Fragen zum Thema Systemdienstleistungen und Bereitstellung oder zumindest die Aufteilung von den Kapazitäten. Wird das auch ein Thema werden Ihrer Meinung nach, oder?

00:16:40

*EXP02:* Es wird absolut Thema werden und wir sind jetzt schon in den europäischen Verordnungen und im Entwurf des erneuerbaren Ausbaugesetzes, zumindest einmal bis zumindest der Netzebene 6. Wir schauen verpflichtend werden sollte für Netzbetreiber, dass sie freie Kapazitäten auch sichtbar machen und dass wir dort so wie bei allem, was bei uns im Netz passiert ist, auch Spannungsqualität auch

Anforderungen in der TOR Erzeuger / TOR Lasten. Das wird langsam von den oberen Spannungsebene nach unten durchsickern. Die Schwierigkeit ist natürlich, dass das flächenmäßige Aussagen im Niederspannungsnetz durch Mangel an Monitoring, durch mangelnde Ausbildung quasi in tatsächliche Netzsimulation Umgebungen, aber da wird noch ein bisschen gebraucht.

00:17:24

*Interviewer:* Und da gibt es ja Projekte, bei denen das Netz in Zukunft dann wirklich bis zum letzten Anschlusspunkt abgebildet wird?

00:17:33

*EXP02:* Genau. Und ich leite gerade ein Projekt mit drei Betreibern in die Richtung, dass man tatsächlich die Flächenwirksamkeit von unterschiedlichen Lösungen anschauen wollen und dort bis zum bis zum letzten Knoten das ganze durch Simulieren, aber da reden wir vor wahnsinnig vielen Knoten wahnsinnig intensiver Rechendauer, die da dahinter ist. Und das Beispiel dann zwei Wochen ein Vortrag gehört von den Elektrizitätswerken XY und die schließen nächstes Jahr ein vierjähriges Projekt ab, das nur den Sinn digitaler Zwilling des gesamten Versorgung Gebiets und das Lastfluss Berechnungsfähig zu machen. Und die haben vier Jahre braucht interne und eigentlich sagt man das ist schnell gemacht, ja na nicht. Also Innovationsprojekt, Change-Management, da sind wir eh wieder bei Innovationsmanagement drinnen, Änderungen von Prozessen, Leute müssen sich auf eine Datenbasis einigen. Es braucht irgendwo die die...denn Begriff habe ich kennengelernt von ‚Single Source of Truth‘ und wir sind aber gewohnt ich habe meine eigene Datenbank, die eigene Umgebung, ich richte mir das ein und dem Vertraue ich. Es werden da unterschiedliche Bereiche, auch bei Netzbetreibern zusammengefasst und müssen zu mehr Zusammenarbeit mit der Änderung. Und da braucht es nämlich auch einen massiveren Grad an Digitalisierung. Das sind sowohl im Sinne des Monitorings und der Automatisierung als auch offline im Sinne der Simulation. Da sind wir sehr heterogen aufgestellt im Sinne der Digitalisierung. Es gibt ein paar Ausreißer in Österreich, aber im Großen und Ganzen sind die Verteiler Netzbetreiber dort, ich sag’s auch ganz offen, haben den Zug verpasst in den letzten drei bis vier Jahren. Und jetzt drückt schon langsam der Schuh, es brennt der Hut und jetzt ist der dringende Bedarf notwendig.

00:19:25

*Interviewer:* Vielleicht da die Frage noch Sie betreuen ja aktuell ein Projekt in diese Richtung, muss man wirklich jeden Knotenpunkt wissen, oder reicht es, wenn ich sage, Okay, ich weiß wie mein Netz aussieht und ich messe nur gewisse Knotenpunkte und kann man die anderen Knotenpunkte auch simulieren und die Lastflüsse simulieren in diesen Kontenpunkten.

00:20:29

*EXP02:* Ja, wissen Sie genau, es ist eine sehr schwierige Fragestellung zu klären, weil wir reden hier von zwei Geschichten eigentlich. Was ist jetzt in der Planung, was mach ich statisch und was mach ich in der Betriebsführung. Je mehr das ich messe, umso genauer kann ich tagesaktuell etwas machen, aber es wird ein Kompromiss. Es ist einfach ein Kompromiss. Das ich sage je ungenauer, dass ich messe oder je weniger Messstellen, die ich habe umso mehr muss ich irgendwo mehr Reserven auf der planerischen Seite lassen, so wie es jetzt ist habe ich Worst-Case annahmen. Und deshalb muss der schlimmste Zustand des Netzes und alles was mit Erzeugern und Verbraucher auftreten kann. Sind wir gewappnet? Das heißt, du brauchst nicht Monitoring und auch nicht automatisieren. Und wenn ja, soll das System immer

mehr an die Grenzen gehe und sag okay, wie ich immer sage, erweiterte Reserven nutzbar machen. Da muss ich ein System was näher an den Grenzen gehen, muss sich dann monitoren und da gibt es immer dazwischen Dinge, okay, wir haben das auch im Projekt gesagt. Ich identifiziere sogenannte kritische Knoten und die brauch das nicht flächendeckend machen. Es gibt auch viele Initiativen, selbst wenn man Smart Meter hernimmt, ich muss nicht jeden nehmen, sondern im Umkreis von 50 oder 100 oder 150 Meter sind die Spannungen eh ähnlich, da reicht dann ein Wert. Und genau in die Richtung wird es gehen. Aber das ist ja nur zum Rausfinden. Wie weit muss man das System bestimmen zukünftig? Das ich das sichere Betreiben kann also das betriebliche und wie weit kann ich das in der Planung der statischen Planung berücksichtigt. Also es ist im planerisch, wenn man auf jeden Fall ist die Tendenz jeden einzelnen Knoten abbilden. Da sind dann wiederum nur Leistungswerte hinterlegt und im betrieblichen, dass man sagen okay, der nächste Schritt ist dann, das Mittelspannungsnetz einzubinden in das SCADA Leittechniksysteme. Und im Niederspannungssystem ist das eine relativ offene...da werden dann die SCDA-Systeme nicht skalieren, weil man einfach von einer x fache Anzahl an Knoten und Messungen sprechen im Vergleich zum Hochspannungssystem. Und da wird es ein bisschen dauern, bis es nach unten diffundiert und da muss man sie mit ‚State Estimation‘ oder Zusammenführen von Messwerten helfen.

00:22:55

*Interviewer:* Da ist wahrscheinlich schon rechentechnisch fast nicht möglich, dass man das ganze abbildet.

00:22:58

*EXP02:* Ja genau.

00:23:01

*Interviewer:* Jetzt kommen wir zum Ende, vielleicht noch zwei Fragen. Einerseits sind wir angesprochen mit der Leistungselektronik. Da ist vor allem wichtig, dass man sagt beim Verbraucher, beim Erzeuger liefert man hier Systemdienstleistungen. Aber wie schaut es aus mit dem aktiven Eingreifen in das Nieder- und Mittelspannungsnetz über Überspannungsstabilisatoren etc.? FACTS zum Beispiel. Ist das Thema Ihrer Meinung nach?

00:23:29

*EXP02:* Das ist das Thema aber meiner Meinung nach eher sozusagen tatsächliche, eine Sonderlösung, wenn man sagt man hat irgendwo ein massives Problem weil es eher in der Forschung und Entwicklung in die Richtung geht, dass er solche Funktionalitäten eines FACTS eigentlich ist, was behind the METER, was eigentlich in der Leistungselektronischen Komponente selbst eingerichtet werden kann. Wir haben da sogar ein EU-Projekt gehabt vor Jahren und da ist man auch zu dem Schluss gekommen. Okay, besser eigentlich die Leistungselektronik mit entsprechenden Fähigkeiten auszustatten und das geht bis zur Richtung des Zukunftsbild, ‚Grid Forming Funktionalitäten‘ von Leistungselektronik. Was auf der Hochspannungsebene High Voltage Direct Current (HVDC) schon State of the Art ist, aber eher sowas wird runter diffundieren in die untere Spannungsebenen und ich glauben mehr daran, als dass dann spezielle Leistungselektronische Komponenten im Netz als Filter dann rein. Wenn ich dann einen Industriebetrieb habe, dass ich einen aktiven Filter dazu stelle. Vielleicht wenn ich lange Netzausläufer habe, dass ich dort so Spannungsgeschichten reinstelle, so Voltage-Regulators, aber im großen Stil erwarte ich mir das nicht. Da sollen die Möglichkeiten der der installierten Leistungselektronik auf Erzeuger- und Verbraucherseite genutzt werden sollte.

00:25:01

*Interviewer:* Und vielleicht noch ganz kurz abschließend. Fallen Ihnen sonst irgendwelche ganz, vielleicht sagen wir mal so abstruse oder wirklich sehr innovativen Technologien ein? Es gibt so Themen DC Versorgung im Mittel und Niederspannungsnetz oder ähnliches. Glauben Sie, wird das in Zukunft auch eine gewisse Anwendung finden?

00:25:25

*EXP02:* Ja, also wir haben bei uns im Haus und von mir im Team als einer der drei Forschungsschwerpunkte für die Zukunft definiert. Und da spreche ich dafür, dass man sich das genauer anschaut. Ja, und dann kommen auch wieder genau mit dem Kostenfaktor und dergleichen. Und es wird sich Gleichstrom ein bisschen durchsetzen, eher im industriellen Kontext, das heißt in Fabriken oder in den Anlagen. Dass Beispiel, ich habe mitbekommen das ein großer Fahrzeughersteller aus Deutschland möchte mittelfristig alle Produktionsbetriebe weltweit auf reine DC-Versorgung umstellen, da die ganze Robotik und alles sind eigentlich eh DC-Motoren die sehen keinen Anlass das als AC zu machen und hat man eigentlich schon Netze die man mehr oder weniger Betreibt. Das ist der nicht öffentliche Bereich. Wenn wir das später des als vereinzelt Alternative auch im öffentlichen Versorgungsgebiet durchsetzen wird. Am Beginn was eher Sonderlösungen sind. Also ich denk da auch zum Beispiel in Österreich haben wir auch für solche Versorgung klassisch im ländlichen Bereich einzelne Bauernhöfe, ich weiß nicht ob Ihnen das bekannt ist, da gibt es ja durchaus so 950V Leitungen.

00:26:50

*Interviewer:* Ja genau.

00:26:52

*EXP02:* Und dass man zum Beispiel sowas mit einer DC/DC-Kopplung hinstellt, in Skandinavien die Finnen sind da Vorreiter, die haben schon einige der Anwendungen in die Richtung so für Nischen Anwendungen und dann eventuell vielleicht zukünftig so im Greenfield, wenn man was hinstellt und wir schauen uns ein bisschen an, wie können wir das hybrid machen, wenn man sagt Okay, Man hat jetzt eine Ankopplung vielleicht was jetzt was neues bietet wo ein Haufen Elektromobilität und die ganzen Leistungselektronischen Anwendungen drinnen sind die DC/DC-Versorgen verwenden könnten, dass man dann irgendwo einen quasi am Ortsnetztrafo oder irgendwo einen AC/DC-Hub hat und von dort geht man dann nur mehr weiter mit DC. Also ich denke, dass auch das wäre denkbar, aber da reden wir schon von deutlich 10 Jahren plus. Außer vielleicht in einzelnen Nischenanwendungen davor. Und vielleicht ist es nicht so ganz zurück, was ich betonen möchte, eine ganz wesentliche Richtung in der Versorgungsqualität ist tatsächlich das nutzbar machen von Sensorik im Netz sowohl klassischer Powerquality Messung aber was nicht nur EN50060 nachweiskritische Faktoren sind, die IEDs, also die Intelligent Elektronik Devices oder auch Smart Meter Daten zu nutzen, um ein bisschen das Gefühl zu bekommen, wo schaut man drauf. Das ist auf jeden Fall ein wichtiger Faktor in Richtung der unmittelbaren Geschichten in Richtung Spannungsqualität. Und wenn sie schon mit jemanden von der E-Control gesprochen haben, die wollen ja schon sehr stark in die Richtung gehen.

00:28:35

*Interviewer:* Genau. Na super, dann sage ich mal vielen Dank, dass Sie sich die Zeit genommen haben.

**Interviewpartner:** EXP03

**Datum:** 06.12.2021

**Gesprächsdauer:** 34:39 Minuten

**Durchführung:** via MS Teams

00:00:35

*Interviewer:* Kann ich mal die erste Frage vorlesen? Also grundsätzlich um was es bei der Arbeit geht, ist dir ja bekannt. Also grundsätzlich es darum, wie du aufgrund der aktuellen Gegebenheiten und Entwicklungen wie E-Mobilität, die ganzen Erneuerbaren etc. die ganzen Normungs-Geschichten, was jetzt auf uns zukommen, die ganzen Regulierungen, wie man da in Zukunft auch die Energieversorgung sicherstellen kann und was EVUs nutzen müssen an Technologien. Und mit dem möchte ich mich ein bisschen Beschäftigten und Zukunftsszenarien aufstellen. Das ist mal so der grobe Überblick und die erste Frage wäre, welche Trends beherrschen die aktuellen Entwicklungen der Energiewirtschaft und der Energieversorgung bzw. könnte in Zukunft noch aufkommen?

00:01:27

*EXP03:* Meinst du die negativen Trends und Entwicklungen oder die positiven?

00:01:36

*Interviewer:* Kann positiv wie negativ sein.

00:01:39

*EXP03:* okay, du hast natürlich eingangs einige erwähnte, der Trend in Richtung was für zukünftige Nutzer des Netzes beispielsweise oder im speziellen bei Verteilernetzen kommt auf uns zu. Natürlich wie du sagst die Elektromobilität, aber auch viele dezentrale Erneuerbare, sei es Windkraft, Kleinwindkraft, Wasserkraft und natürlich massenweise PV, mit all den damit einhergehenden Problemen und auch auf der anderen Seite Elektromobilität nicht nur als Last, sondern auch als Prosumer. Wo eh schon seit 10 Jahren diskutiert wird, Vehicle to Grid Technologien, wenn Vehicle to Grid, dann ist natürlich die Frage, inwieweit das AC oder DC sein wird. Mache meinen DC ist das Problem, weil dann muss ich ein DC-Netz aufbauen, manche sehen das mehr als Chance. Manche meinen es wird eher AC sein, weil der EF-Hersteller wird sich keinen Umrichter einbauen der zurückspeisen kann. Man weiß es nicht, man wird es sehen. Ja, was natürlich so in Richtung Vehicle to Grid also so netzdienliches Verhalten von Prosumern kommt, da habe ich natürlich die Thematik der Energiespeicher der Batterie Energiespeicher (Batterie Energy Storage Systems) mit dabei die sich natürlich netzdienliche Verhalten können auf der einen Seite, auf der anderen Seite aber den Autonomiegrad meines Verbrauchers erhöhen können in dem sie PV puffern. In der stark PV Last oder stark PV Erzeugungszeit und in der schwach PV Erzeugungszeit, also sprich wenn es Finster ist und ich daheim bin, mir meine Energie liefern, da gibt es natürlich ausgeklügelte Modell zu optimieren und entsprechend optimiert Speicher Größe herausbringen. Was natürlich mit den ganzen Dezentralen auf größerer Ebene, vor allem ich sag jetzt einmal DC ab Mittelspannung, PV ab Mittelspannungseinspeisung oder Wind ab Mittelspannungseinspeisung dazukommt, das was wir eh aus unseren Vorlesungen von denen wir beide genossen haben kennen, wie das ist wenn sich die Erzeugung herausschiebt und die entsprechenden fossilen Kraftwerke dann verdrängt, weil sie preislich nicht mehr mithalten können. Dann

habe ich irgendwann einmal das Problem ich nur mehr Strom habe, wenn die Sonne scheint und wenn der Wind geht, bestenfalls gleichzeitig. Da komm ich sicher irgendwo in die Bredouille, dass mein..... Ich sag jetzt einmal so, vielleicht meine Grundlast nur mehr zum Teil abdecken mit Erneuerbaren, könnte ich mir vorstellen, wenn es nicht entsprechend ausgebaut werden, auf der anderen Seite aber möglicherweise Spitzenlast Zeitpunkte, wo ich dann keine Erneuerbare Erzeugung haben und die muss ich dann "na net nanan" puffern. Und dahingehend gibt es also schon einen Haufen an Technologien, die ich sage jetzt einmal vorsichtig in deren Grundzügen eine älter ist als die andere. Sei es Wasserstoff mit der Brennstoffzelle, mit dem wechselseitigem Elektrolytator oder erst unlängst erst wieder mit einem Freund zum tun gehabt, Schwungrad Speicher, wenn man sich das ein bisschen anschaut gibt es durchaus einige Ansätze, jetzt in verschiedenen Größenordnungen. Ein Ansatz ist zum Beispiel, wenn man in Richtung Elektromobilität blickt, Schnellladestationen mit integriertem Pufferspeicher, die auf der einen Seite natürlich Batterie sein können oder auf der anderen Seite Schwungradspeicher, siehe Flughafen Wien vor der Haustüre. Von Wienenergie mit einem israelischen Hersteller von Schwungradspeichern, wo ich den Namen leider vergessen. Allerdings geht es natürlich in größere Skalierung ist eine Möglichkeit. Da bin ich aber immer auf der einen, wenn ich es eher größer skalieren, im Netzdienlichen Bereich, wo wir wirklich versucht, Probleme durch die Erneuerbaren aufkommen können, zu kompensieren. Und auf der anderen Seite wiederum habe ich Geschichten, wo ich mir einen Netzausbau in gewisser Art und Weise sogar erspare, wenn ich eine Schnellladestation habe, wo ich weiß, da kommt alle 14 Tage einer daher und will schnell laden. Da reicht es wenn ich genügend Zeit habe, Hausnummer 3,7 oder 11 KW irgendwas voll aufzuladen, wo ich nachher in 20 Minuten weiß nicht wie viel kWh...50kWh abliefern kann, aber da darf nicht alle halbe Stunde wer herkommen und laden. Puhhh jetzt habe ich eh schon viel geredet, was Energiewirtschaft steht noch da. Energiewirtschaftlich betrachtet, wir sehen und hören es aus den Medien und nächstes Jahr dann vielleicht auf der Stromrechnung. Es wird nicht billiger. Auf der einen Seite allerdings das Positive daran Es wird nur der Strom teurer, das Netz aber nicht oder zumindest nicht in dem Ausmaß. Daher die Energiepreissteigerung von weiß ich nicht, sagen wir jetzt einmal Hausnummer 50 Prozent, wirkt sich in der gesamten Strompreis Steigerung nur mit 15 20 Prozent aus. Und aktuell haben wir davon geredet, Hausnummer die Killowattstunde kostet den Verbraucher vielleicht 20 22 Cent. Davon waren vielleicht 6-7 sein wirklich Energiepreis und der Rest halt Netz. und wenn die 6-7 Cent steigen, "na no na net" dass der Gesamtpreis ansteigt, aber nicht um das Verhältnis oder nicht um den Prozentsatz. Und ja Energiewirtschaft no gesehen, es wird ja in der Energiewirtschaft mit so ziemlich allem was geht gehandelt und da wären natürlich auch ein Haufen neuer Marktteilnehmer dazu kommen. Die in irgendeiner Art und Weise vielleicht Netzdienliches Verhalten in Abstrahierter weiße verkaufen können oder sonstige Geschichten, was auch immer das genau sein könnte. Und was wollte ich noch sagen...habe ich vergessen. Ja falls mir dazu später noch etwas einfällt, später mehr, aber da machen wir jetzt einmal für Fragen eins einen Punkt, weil jetzt habe ich eh schon genug doziert kommt mir vor.

00:09:02

*Interviewer:* Da ist schon einiges kommen. Danke einmal so weit. Du kennst ja, du bist ja Experte für Ladestation und Ladeinfrastruktur, hast ja dazu auch schon ein bisschen genannt. Ähm, wie schaut das von deiner Seite aus? Ist es eher was positives oder Negatives fürs Netz?

00:09:22

*EXP03:* Für den der Strom verkauft ist ein zusätzlicher Verbrauch super.

00:09:30

*Interviewer:* Aber jetzt eher im Bezug auf die Versorgungssicherheit.

00:09:34

*EXP03:* Ja, natürlich ohne jetzt Vehicle to Grid Technologien. Wenn nur Verbraucher dazukommen, ist es für den der den Strom verkauft nicht schlecht, aber für den der in hinbringen muss ein Thema. Es gibt verschiedenste Ansätze, Ausbaustrategien, wo ich jetzt keine im Detail im Kopf habe. Es wird davon gesprochen, dass 3,7 KW pro Tag pro Parkplatz kein Problem sein sollten. 11 KW also 3,7 kW ist ja einphasig und 11 kW ist mehr oder weniger dreiphasig also 16A. 3,7 kW ist die Schuko-Steckdose, das sollt kein Problem sein. 11 KW wird davon gesprochen, dass das durchaus in vielen, sehr vielen Bereichen möglich sein wird. Weiter trauen sie sich nicht gehen, allerdings in sehr vielen Bereichen ist allerdings relativ. Weil wenn ich jetzt einmal in den ruralen Raum schaue, dann hat der neben dem Trafohaus in der Einfamilienhaussiedlung wahrscheinlich kein Problem. Allerdings der, der 500, 700, 800 Meter entfernt ist, der letzte am Stich draußen, der wird mit den 11 kW ein Thema kriegen. Was natürlich immer ruralen Einfamilienhaus Bereich für ein Probleme hast ist, natürlich sollte jede Ladestation, jede Wallbox, eingemeldet werden die in irgendeiner Art und Weise dem Netzbetreiber bzw. dem Versorger. Allerdings man weiß, wie es ist, wenn die Bastler daheim irgendetwas machen, ga? Ob sie da jeder brav meldet, man wird es sehen. Weil wenn die Elektromobilität wirklich so einen Zuwachs erlebt. Ein anderes Beispiel ist natürlich nicht nur das der Netzbetreiber weiß und damit umgehen kann, das da jetzt drei von 10 eine Wallbox mit 11kW bekommen. Das er es nicht nur weiß, sondern auch umgehen kann damit. Das ist ja auch da eine Geschichte, weil was kostet das Killowatt Anschlussleistung...350 Euro oder so in der Größenordnung. Das musst du auch einmal Zahlen, das wird dem Netzbetreiber vielleicht irgendwann einmal abgehen oder einige haben früher Elektroheizungen gehabt, die haben das Thema nicht, weil Sie die KWs schon vor eingekauft haben vor 40Jahren. Und ansonsten Elektromobilität, wird es sich ausgehen, wird es nicht ausgehen, rein vom Netzwerk her muss man sie ausschalten, das kommt darauf an. Im städtischen Gebieten als im urbanen, suburbanen Gebiet da könnte es schon eher kritischer werden. Wobei da gibt es durchaus etablierte Technologien wie ein entsprechendes Lademanagement, dass ich jetzt eine Tiefgarage mit 10-15-20 wie viel auch immer Wallbox 11KW ausstatte und je nach Verfügbarkeit, je nach verfügbarer Leistung wird aufgeteilt was da ist. Das muss sich aber auch in irgendeiner Art und Weise in der Tarif-Gestaltung abbilden, weil es werden nicht alle begeistert sein die sagen sie zahlen für 11kW aber bekommen dann nur mehr vielleicht sogar nur 3,7 KW. Ein Thema bei der Ladeinfrastruktur ist auch die immer weniger werden....immer noch verschiedene Hersteller haben zwar einen Typ2 Stecker, die laden grundsätzlich dreiphasig, 11kW 22kW was auch immer, aber belasten nur eine Phase. Also laden defacto nur mit einer Phase. Was prinzipiell Wurscht ist, aber wenn heute der Elektriker die Wallboxen anschließt mit L 1-2-3, dann schließt er halt oft L1 auf L1. Und wenn jetzt vielleicht zehn Fahrzeuge Worst-Case Szenario mit 3,7kW über eine Phase laden, haben wir irgendwann einmal auch ein Thema. Und was wollte ich noch sagen, ja genau wie bereits eingangs erklärt unser Projekt was ich da mit bearbeiten darf, das Power-System-Cognivication. Da ist unter anderem auch ein Used-Case mehr oder weniger der gesteuerte Laden von Elektrofahrzeugen. Da geht es jetzt um Strategien wie kann ich intelligent, zentralisiert, also zum Beispiel den Verteilernetzbetreiber Ladevorgänge oder in Vorgänge eingreifen. Und da gibt es verschiedenste Konzepte. Da haben unsere Kollegen von der TU Wien einfach durchgerechnet, wenn ich jetzt hergehe und Trafoweise ansteuere, oder abgangsweise ansteuere oder wirklich komplett



granular Ladestationsweise ansteuern. Damit das überhaupt funktioniert, gibt es bisher keine Initiative. Es geht glaube ich von Österreichs Energie aus, von XY von den Vorarlbergern ist da involviert und macht sich stark dafür, dass es zumindest einen sogenannten potentialfreien Kontakt gibt, der dem Netzbetreiber eine Aussteuerung ermöglicht oder erlaubt. Weil aktuell sind ja Lamentationen vom Prinzip her nur ein bisschen intelligentere Starkstromsteckdosen / Kraftsteckdosen. Wo jetzt eine Ansteuerung schwierig ist, sagen wir einmal so. Da muss was rein in die Ladestation, dass Sie das kann, viele können es schon, aber sicher nicht alle. Und in die Richtung machen sich die Kollegen schon Gedanken, wie man mit dem Thema umgehen kann. Dass man zum Beispiel mit in die breite Masse mit einer Art Rundsteuersignal rausgehen kann und sagen kann, so jetzt haben wir ein Problem, jetzt reduzieren wir auf die halbe Leistung. Funktionieren kann es im Prinzip oft so wie eine Not-Aus Schleife. Wo du sagst du hast ein Signal, wenn das Signal anliegt, dann darfst du vollladen und wenn das Signal nicht anliegt, dann darfst du halt nur mit der halben Leistung laden, was auch immer vereinbart ist. So ein zentralisiertes Lademanagement.

00:17:58

*Interviewer:* Die Frage 2 haben wir an dieser Stelle im Wesentlichen auch schon beantwortet. Zur Frage 3, siehst du irgendwelche Chancen und Risiken aufgrund der aktuellen Entwicklungen?

00:18:11

*EXP03:* Ja Chancen....Chancen gibt es genug für alle Möglichen, die da mitspielen wollen, vor allem auf dem Markt. Sei es Hersteller von irgendwelchen Speichertechnologien, ob des Herstellers sind von irgendwelchen Monitoring Lösungen von irgendwelchen ich sag einmal Steuerungs/Regelungs-Überwachungslösungen. Wo ich ein großflächiges Lademanagement das braucht sicher ein vernünftiges Backend und vernünftige Integration in der aktuellen Betriebsführungen. Es ist immer wieder Thema so eine Art SCADA für Niederspannung. In den verschiedensten Ausprägungen generell Integration der Niederspannung in bestehende SCADA Systeme, beispielsweise ist ein Thema. Die Siemensianer beschäftigen sich durchaus mit der Thematik. Intelligente Ortsnetz Station. Wie heißt es.....ISST (Intelligent-Secondary-Substation). Ist auch so ein Begriff, der der mir immer wieder unterkommt und ja generell, ich glaub es wird aufgrund der aktuellen Entwicklungen....was heißt es wird, es beschäftigen sich immer mehr damit, dass sie immer autarker werden wollen und ihre kleine Insel zusammen bringen wollen daheim, wobei das für den Einfamilienhausbereich gilt. Wobei auf der einen Seite im Einfamilienhaus-Bereich in größeren Quartier Lösungen etc. kommt immer wieder auf die Energie-Gemeinschaft, irgendwelche kleine Vereinsstrukturen...keine Ahnung sich die zusammen finden wollen die gemeinsam was machen wollen. Vielleicht gemeinsam eine PV Aufstellung, vielleicht gemeinsam eine Speicherlösung errichten. Da vielleicht irgendwo ein kleines Car-Sharing Modell dazu bauen, keine Ahnung auf was die Leuten nicht alles kommen werden. In der Richtung wollte, kann es sein das sich sehr viel oder zumindest einiges tun wird. Und natürlich da sind Themen dabei die Chancen für den Markt bieten und natürlich auch Chancen für gewisse Art der Versorgungssicherheit im kleinen Rahmen. Aber das uns jetzt eine Insel mit drei 450mq<sup>3</sup> Häusern beim Netzwiederaufbau großartig helfen werden, dann müsste es schon einen ganzen Haufen geben von denen. Und in weiterer Folge was wollte ich noch sagen, irgendetwas ist mir noch auf der Zunge gelegen. Und Risiken sind natürlich die Verdrängung der konventionellen Kraftwerke durch die Erneuerbaren. Das ist zwar gut und schön fürs Klima, aber es läuft immer wieder darauf raus, dass nicht immer der größte Verbraucher ist wenn die Sonne scheint. Es ist ein Thema und umso mehr konventionelle Kraftwerke verdrängen, desto mehr andere Lösungen das bietet natürlich auch Chancen

auf der zweiten Seite. Aber es ist und bleibt ein Thema. Du siehst, ich mein du weißt es eh es gibt einen Haufen Chancen und einen Haufen Risiken in dem Bereich. Was da jetzt schlagend wird, dass sehe ich im Kaffeesud eher net so genau..... aber gut das ist ja ein Teeheferl, ja gut werden wir sehen wird ein Thema werden.

00:22:24

*Interviewer:* Dann kommen wir eh schon zum Zweiten Teil, was du eh schon ein bisschen abgehackt hast, Technologien, was für Technologien man in Zukunft einsetzen kann um die Versorgungssicherheit gewährleisten. Du hast es eh schon angesprochen, Geschichten wie Batteriespeicher, Schwungrad-Speicher, dann in weiterer Folge Erbringung von Systemdienstleistungen.

00:22:51

*EXP03:* Wie gesagt, das geflügelte Wort an dieser Stelle ist die Netzdienlichkeit quasi, das ist ein wunderschönes Wort, ich weiß nicht wem das eingefallen ist, aber mir gefällt es echt gut. Eben wie du sagst Batterie und Schwungrad, aber auch Elektrolisatoren können ein Thema sein, je nach geographischer Lage, irgendwelche kleinen Pumpspeicherkraftwerke. Natürlich jetzt in Graz, wir werden nicht am Schloßberg ein Reservoir machen oder was, das geht irgendwie net, dass muss halt geographisch irgendwie einigermaßen zusammenpassen. Was sich wie etablieren wird, ich bin jetzt kein großartiger Grüner, ich würde mehr Laufwasserkraftwerke hinstellen, das ist halt wirklich eine Grundlast und da habe ich die Möglichkeit von Schwarzstart, wobei Pumpspeicher sehr prädestiniert für Schwarzstart Geschichten, wenn ich jetzt in Richtung Black-out Prävention gehe. Was immer ein gefährliches Wort ist, können wir auch längerfristige Versorgungsunterbrechung sagen dazu. Da muss ich natürlich irgendwie schauen....aber da was man immer wieder auf Veranstaltungen auf Konferenzen hört, Österreich ist durchaus gut gewappnet für den schnellen und sicheren und hoffentlich gut funktionierenden Netz-Wiederaufbau. Weil wir haben einiges an Schwarzstartfähigkeit im Bundesgebiet verbaut und es sollte bald wieder das funktionieren und was man auch immer wieder hört, vor allem das nähere Umfeld von uns. Unsere Nachbarstaaten, die sich durchaus teilweise auf uns verlassen, wenn es zu einem Blackout kommt. Auch die Schwarzstartfähigkeit und auch die Hilfe wenn es Finster wird von unserer Seite, weil andere Länder nicht so gut aufgestellt sind. Das heißt jetzt nicht das Österreich wahnsinnig gut vorbereitet ist, das ist halt auch historisch gewachsene. Wie a Steirer sagt, mit voller Hose ist leicht stinken. Aber natürlich weitere Technologien wir haben es auch kurz erwähnt, den Bereich der Vehicle-to-Grid Technologien sind auch interessant, inwieweit die jetzt zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit beitragen kann, da sag ich jetzt nur eher schon vielleicht, wenn das ganze entsprechend ausreguliert ist, aber für einen Wiederaufbau bin ich mir da nicht ganz so sicher. Viel ist ja da in Richtung, man unterscheidet ja zwischen Grid Forming und Grid Following Umrichter und ja Grid Forming, der formt ja auch das Netz. Der kann das Netz quasi bereitstellen. Der Grid Following brauch eine Spannung und ein Netz, das er überhaupt Arbeiten kann. Dann kann er quasi im 4-Quadrantenbetrieb arbeiten, aber nicht ohne Netz. Der quasi Insel PV Umrichter, als Beispiel der kann auch ohne Netzspannung eine Insel aufrechterhalten. Das kann nicht ein jeder PV Umrichter und da weiß ich nicht wie die Leute in der breiten Masse draußen in der Praxis der Einfamilienhaus Besitzer oder die Besitzerin, wenn die sich sowas einbauen lassen wollen und Sie denken ich habe eh PV und wenn die Sonne scheint ist eh egal was rund um mich los ist. Ich glaube nicht, dass jeder Bescheid weiß, dass das nicht jeder Umrichter so kann, das Gleiche mit Batteriespeicher, die in irgendeiner Art und Weise einen Umrichter drauf haben. Oh ja, natürlich, wenn ich denk an die ganzen

Speichertechnologien und sehr viel erneuerbare Technologien. Und aber auch in Richtung der Verbraucherseite und den Endverbraucher. Also nicht ich als Kunde, aber einfach mein Handyladegerät oder PC-Netzteil, das ist alles DC im Wesentlichen. Das heißt DC-Netze haben eine Berechtigung, mit kleiner Ausdehnung haben sie durchaus Sinn. Es gibt bereits einiges an Endhardware, wirklich, zum Beispiel am Handyladegerät z.B. DC/DC Umsetzer, aber auch eine Küchenmaschine oder Kaffeemaschinen oder was auch immer. Also wirklich ob das jetzt Consumer Electronics ist, oder wie das heißt Weißware, wie ein Geschirrspüler unter anderem auch heißt, da gibt es einiges. LED Beleuchtung, DC/DC-Konverter kein Problem. Es gibt im normalen Haushalt, wie wir wissen relativ wenig, was noch wirklich AC oder sogar Drehstrom ist. Natürlich eine Kreissäge gibt es noch nicht am breiten Markt verfügbar, die mit 24VDC oder 48VDC funktioniert. Aber das klassische Standardrepertoire, da gibt es einiges in der Richtung, also DC durchaus ein Thema. Also für weitläufige Übertragungen HVDC. Auf der anderen Seite für kleine Verteilernetze. Wird man sehen was hier durchsetzen wird und wie das weiter gehen wird, aber es gibt natürlich Potential.

00:28:46

*Interviewer:* Vielleicht eines was du noch angesprochen hast mit den Ladetechnologien, noch ganz kurz. Glaubst du, dass es da wirklich nur der Lastabwurf oder die Lastreduktion, oder wirklich, dass die Fahrzeuge wieder ins Netz zurück einspeisen?

00:29:02

*EXP03:* Das ist Vehicle-to-Grid die Netzurückspeisung, wie gesagt ich hab dass das erste Mal vor mehr wie 10 Jahren auf einer Konferenz wo ich teilnehmen durfte 2008 in München, da haben Sie schon von Vehicle-to-Grid geredet. 2019 im Oktober war dann auf meiner letzten Konferenz die sich mit Ladeinfrastruktur beschäftigt hat oder Festival war das eigentlich. Dort habe ich unter ich schätz unter 30 Fahrzeugmodellen und ungefähr gleich vielen Ladestationen glaub ich jeweils zwei gesehen glaube ich, die das überhaupt können. Das ist das ein, technisch überhaupt kein Problem, aber wenn es der Fahrzeughersteller in seinem Konzept nicht integriert, wird es schwierig. Gleiches beim Ladestation Hersteller. Da glaube ich persönlich, persönliche Meinung, wenn sie das durchsetzt, dann nur mit DC-Wallboxen. Weil ich einfach nicht daran glaube, dass der Fahrzeughersteller noch ein Trum in sein Auto einbaut. Das wird vielleicht schwerer, vielleicht blöder vom Handling her, man muss sich über Schutzmaßnahmen Gedanken machen, alles Mögliche, Tot und Teufel, wenn der mit AC zurück raus kommt aus dem Fahrzeug. DC Wallboxen sind gerade am kommen, die gibt es, die kann man kaufen, aber noch nicht dass du sagst bei Forstinger. Wenn dann über DC und da sind die Entwicklungen gerade erst am Laufen, sage ich jetzt einmal. Aber das noch viel weiter und mehr dazu kommt, wenn ich mir die aktuellen Batterietechnologien anschau, also Akku-Technologien, Traktionsbatterie-Technologien hast du trotzdem das Thema, dass die Leute Angst haben vor einen Kapazitätsverlust über die Laufzeit. Und Kapazitätsverlust, ja auch natürliche Alterung, aber auch Ladezyklen und Endladezyklen. Und da ist die Frage, wie weit man sich da einig wird, wie weit auch wenn ein Fahrzeug dessen Traktionsbatterie Netzdienliches Verhalten quasi liefern kann, dann wird es der Kunde sicher in irgendeiner Art und Weise abgegolten, gegengerechnet was auch immer bekommen. Allerdings, ob dieses Gegenrechnung Modell, Gegenfinanzierung Abgeldungs-Modell so ausschaut, dass die Entwertung meiner Traktionsbatterie damit aufheben oder sogar übersteigt das weiß ich nicht. Da wird vielleicht einiges in Richtung neuen

Technologien kommen, neue Akku-Technologien könnte ich mir vorstellen. Aber ja jetzt schaue ich wieder in den Kaffeesud.

00:32:23

*Interviewer:* Super, du hast schon einige Fragen sehr interessant und gut beantwortet. Jetzt vielleicht eine Frage zum Schluss noch, ihr beschäftigt euch am Institut viel mit so Geschichten wie Spannungsqualität. Wie schaut es dort aus gerade in Bezug auf Umrichter und so Geschichten wie virtuelle Schwungmasse etc.. Wie weit ist da der Stand der Technik?

00:32:45

*EXP03:* Virtual Inertia ist immer wieder Thema. Diese künstliche oder virtuelle Schwungmasse, wie man weiß es ja natürlich bei Erneuerbaren die Thematik aufheben dass man keine tatsächliche Schwungmasse mehr hat, die uns ja bekanntlich sehr dienlich für die Netzfrequenz ist. Ich kenne das Thema grundsätzlich bin ich aber kein Experte auf dem Gebiet. Aber wenn du sagst Spannungsqualität, viele Umrichter machen das Netz nicht gerade besser. Sagen wir mal so, jetzt ganz salopp formuliert, das schönste für einen Generator meines Erachtens ist, wenn auf der anderen Seite, sich ein schön synchroner Motor dreht. Jetzt kein Synchronmotor, sondern schön gleichmäßig ein Elektromotor der dreiphasig angeschlossen ist dreht und vielleicht konstant  $\cos(\phi)$  fährt. Aber jetzt nicht irgendetwas zerhackt oder wieder gleichrichtet oder sonst irgendetwas, das ist halt grundsätzlich nicht so super für die Versorgungsspannung. Aber die Masse macht es natürlich, auf der einen Seite je nachdem wie viel Glück du hast, zwei Umrichter können sich was Oberwellen betrifft durchaus aufheben, müssen sie aber nicht. Mehr in Detail kann ich in diesem Fall nicht gehen, weil es einfach nicht mein Fachgebiet ist.

00:34:33

*Interviewer:* Na super, dann sage ich mal vielen Dank!

00:34:37

*EXP03:* Sehr gerne, haben wir alle Unklarheiten beseitigen können?

00:34:39

*Interviewer:* Ja, auf jeden Fall.

**Interviewpartner:** EXP04

**Datum:** 07.12.2021

**Gesprächsdauer:** 22:12 Minuten

**Durchführung:** Telefonisch

00:00:03

*Interviewer:* Dann kommen wir zur Frage1, diese kann natürlich auch die Übertragungsnetze betreffen.

00:00:14

*EXP04:* Ich glaube extrem diese Sachen wie Energiewende, Klimaschutz, EAG (Erneuerbaren Ausbaugesetz) und jetzt ein bisschen in die unteren Spannungsebenen gedacht, diese Entwicklungen wie Photovoltaik, E-Mobilität. Von außen getrieben, das hat natürlich starken Einfluss auf das Netz, bis hin zu diesen DC-Sachen. Das Netz wie wir wissen ist ja historisch ein bisschen Bottom-Up geplant worden, wie die Verzweigungen bis zum letzten Hausanschluss. Wenn sich diese Sachen umdrehender Energieflüsse, wenn die Photovoltaik einspeist, Ladestationen, E-Mobilität, dann kommen da Sachen ins Spiel, für die das historisch gewachsene Netz nicht wirklich funktioniert.

00:01:11

*Interviewer:* Ok, sehen Sie jetzt speziell vom Verteilnetzbetreiber aus speziellen Trends auf Sie zukommen. Gerade was Energiewirtschaft betrifft.

00:01:24

*EXP04:* Ja, die Energiewirtschaft, das sind Themen, das ist ein Part, da versucht man Flexibilität in Sachen zu heben. Auch so Märkte für Flexibilität, Demand Side Management das sind einiges zukunftssträngige Sachen. Und weil ich vorhergesagt habe, dass Photovoltaik und E-Mobilität, Wärmepumpen, das erlebe ich zum Beispiel schon täglich. Das kleine Windparks ins Netz drängen, aber die großen, weil sie schon so hoch sind, mit mehreren MW speisen trotzdem noch in das APG Netz ein. Bei den erneuerbaren Energien zu Biogas, Biomasse und Photovoltaik, E-Mobilität, das spielt sich im Verteilnetz ab. Wind sehe ich eher so Top-Down in das System hineinwachsen, das heißt aber nicht, dass im Verteilnetz kein Wind angeschossen ist. Das geht halt auch so in die Richtung, das DC-Thema was gestern war ist auch sehr interessant. Ansonsten was Technisch so im System, wenn sich das System technisch so verhaltensstark ändert, es geht ja sehr stark in die Richtung Energieflüsse, Spannungsstabilität, Blindleistung, regelbare Ortsnetztrafos, das sind alles so Themen, da gibt es einiges. Oder auch Energiedienstleistungen, Demand Side Management, das geht schon so ein bisschen in Richtung Markt. Z.B. Märkte für Flexibilität oder wie ein System dienlich eingesetzt werden soll, da wird sich auch einiges tun in nächster Zeit. Vielleicht reden wir jetzt noch ein bisschen über die Sektoren, Sektorkopplung auch im kleineren Bereich, da hat es auch bei der OVE Energietechniktagung letztes Jahr einige Sachen, da gibt es einige so Piloten in Österreich. Teilweise über Firmen, Campus kleine Projekte, Wärme, Photovoltaik, Speicher in Gebäuden, Speicher in Batterien, Energiemanagement Systeme, Fuhrparkmanagement, da gibt einige solcher Sachen.

00:03:42

*Interviewer:* Okay, okay. Ähm. Genau. Vielleicht einmal zu dem Punkt kommen bezüglich, was Sie vorher gesagt haben Flexibilität im Management. Das ist eine Frage, was ich immer gerne stell ist, glauben Sie eher, dass das jetzt eher verpflichtendes Thema sein wird. Also wie es bei großen Windparks etc., dass

man als Netzbetreiber sozusagen Zugriff auf die Anlagen hat, dass man Lastregelung betreiben kann? Sehen Sie das auch jetzt im kleinen Rahmen, das es ein Thema wird oder das eher wirklich vielleicht eine freie Wahl wird für die Versorger.

00:04:24

*EXP04:* Da muss man unterscheiden, dass Netzbetreiber sich. Dass Energiedienstleister Sicht. Das ist ein bisschen schwer zu beantworten. Das geht sehr stark in rechtliche Themen und ist ein bisschen heikel, wenn man dann direkt auf Anlagen zugreifen will oder soll. Für den Netzbetreiber kann es interessant, der Dienstleister....das ist ein wenig wie beim Hausanschluss, habe ich ein Recht auf Anschluss oder Einspeisung oder Bezug und wenn ich das dann in meinem System optimieren kann zwischen Wärme, Gas, Strom andere Sachen, dann kann ich ja Grenzwerte einhalten. Das Thema muss man aufdröseln, was ist für den Netzbetreiber interessant und was für andere Marktakteure, wie Player Energiedienstleister, Optimierer wie gesagt. Ein Thema von vorher noch was ich sehr interessant finde und State of the Art ist, wenn man eher Burgenland, Niederösterreich anschaut, die nennen das "DDA" Anschlüsse. Die fangen jetzt an zu den Windparks Photovoltaik Anlagen dazu zu hängen. Weil das ein bisschen exklusiv oder funktioniert, also nicht ein bisschen, sondern Großteils exklusiv oder funktioniert. Es ist Großteils so, entweder habe ich gute Windverhältnisse oder gute Sonnenverhältnisse. Aber es gibt sehr wenig Zeiten wo die gleichzeitig da sind. Das heißt sie können sich quasi die Kapazitäten teilen. Da gibt es schon Studien zu den Überlappungen, die ist glaube ich unter 5%. Weils eben so ist, ist das Wetter schlecht, dann ist es meist schierch und windig, oder dann ist Hochdruck und es scheint die Sonne. Das sind sehr effiziente Systeme, wo man dann die Ausnutzung der Netzanschlüsse oder auch Netzeinspeisungen optimieren kann. Das ist extrem interessant.

00:06:08

*Interviewer:* Ok und wie sieht es da aus in Richtung zusätzliche Implementierung von Speichertechnologien?

00:06:16

*EXP04:* Speicher sind extrem wichtig, gerade im Kleinen. Wenn ich in der glücklichen Lage bin ein Einfamilienhaus zu haben mit Photovoltaikanlage und einem Batteriespeicher im Keller, so wie mein Nachbar oder ich hätte ein Elektroauto. Das Speicherthema ist insgesamt hoch interessant, das fängt an im Kleinen, für mich selber zu optimieren. Aber das wissen wir, dass die Windbedingungen natürlich im Winter besser sind, Sonne Photovoltaik im Sommer, dann kommt dann, wenn wir so monatliche oder saisonale Shifts machen, um Energie autark zu sein, muss man eher Vorsichtig sein. Da muss man auch in saisonale Shifts reingehen. Aber da reden wir dann von 10-15-20 TWh. Das sind auch Größenordnungen, die ganzen Pumpspeicherkraftwerke haben 3TWh, das sind halt ganz andere Größenordnungen. Aber Speicher, sind höchst interessant, von klein bis riesengroß. Bei den großen geht es eher um chemische Speicher, Gase haben mehr Potential. Das ist halt auch ein bisschen der Vorteil von einem verbundenen Stromsystem, oder Gassystem, oder überhaupt Liniensysteme, das sag ich dann ich kann über Europa zeitgleich Unterschiede ausgleichen und shiften. Das ist ja nicht so, dass wen Deutschland keinen Wind hat, dann ist vielleicht in Österreich Wind. Das ist ja gerade das Interessante, dass das Netz sehr leistungsfähig ist. Aber Speicher grundsätzlich generell interessantes wichtiges Thema.

00:07:47

*Interviewer:* Sie haben es ja vorher auch schon angesprochen in Richtung Photovoltaik, Windparks was natürlich auch am Verteilnetz hängen. Grundsätzlich ist die Frage, es kommen jetzt immer mehr Einspeiser, welche im Verteilnetz einspeisen, also Wind, Photovoltaik etc.. Sehen Sie da jetzt als Übertragungsnetzbetreiber die lokalen EVUs, die lokalen Verteilnetzbetreiber mehr in der Pflicht?

00:08:25

*EXP04:* Es sind alle in der Pflicht, aber es fängt damit an, wenn man das EAG ernst nimmt und diese Ziele verfolgen will, wie gesagt man wird sehen ob das auch in 10 bis 20 30 Jahren gelingt, aber natürlich die Klimaschutz Bestrebungen und die Verpflichtungen der Internationalen ernst nimmt, dann ist man generell in der Pflicht das viele Anlagen kommen werden und dass die Netzbetreiber gefordert sind diese anzuschließen, insofern es im Verteilnetz den Netzanschluss gibt. Wir reden davon, ich weiß es nicht, ob Sie den Netzentwicklungsplan kennen, da sind viele Sachen drinnen die ich so erzähle, aber wir reden da von 20 Gigawatt erneuerbare Energien, also vor allem Wind, Photovoltaik die anzuschließen sind, um diese Ziele zu erreichen. Das fängt an, ich habe heute mit den XY Planungsgespräche gehabt, da haben wir Projekte, die haben eine Dynamik und der Netzbetreiber ist da schon gefordert. Aber das sind massive Aufgaben in den Branchen und vor allem auch für die Netzbetreiber, um diese Systemintegration der Erneuerbaren technisch wirklich hinzubekommen, indem die Netze auch wirklich ausbauen muss. Aber natürlich, es gibt auch gesetzliche Pflichten, wenn es Anschlusspflichten gibt und wenn sagt vom Regierungsprogramm oder internationale Verpflichtungen die man eingegangen ist oder in Richtung Klimaschutz, dann endet es sonst in Strafzahlungen wenn man die Quoten nicht erfüllt, z.B.

00:09:55

*Interviewer:* Und wie haben Sie das in den letzten Jahren wahrgenommen? Wenn man sich anschaut, wie viel Redispatch betrieben wird, das nimmt ja schon massiv zu. Und sehen Sie da jetzt, wenn man den Blick in Richtung Verteil Netze wirft. Sehen Sie da jetzt, dass das Problem eher von den Verteilnetzen ausgeht oder eher im Übertragungsnetz liegt?

00:10:19

*EXP04:* Ich kenn das Thema stärker vom Übertragungsnetz, da haben wir das Thema, dass wir international Verkehr quasi auch bewältigen, ja über Importe / Exporte. Natürlich ist es schon eine Kombination aus dem, was waagrecht im Netz unterwegs ist auf den hohen Spannungsebenen und das Überzeugungsüberschüsse von den Verteilnetzbetreibern auch zur APG eingespeist werden. Das vermischt sich diese Effekte. Im APG Netz haben wir schon das Thema, das die Redispatchkosten in den letzten Jahren, da gibt es genug Präsentationen, extrem gestiegen sind. Sehr stark, wirklich im dreistelligen Millionenbereich und auch wenn man da ein bisschen unterscheiden muss welcher Kostenanteil bleibt bei der APG. Meines Wissens nach, ich weiß es jetzt nicht ganz genau auswendig, da sind wir aber glaube ich im vorigen Jahr und das Jahr davor im Bereich zwischen 90 und 130Millionen, das sind auch schon dreistellige Beträge. Auf die APG bezogen ist das schon extrem der Auslöser, dass wir im Netzausbau, Salzburgleitung stark verzögert sind, nicht die entsprechenden Netzkapazitäten haben. Aber natürlich, wenn ich das Burgenland hernehme oder Weinviertel, wenn ich sage da ist die elektrische Last im Schwachlastfall 50MW oder sollen es 100MW sein und die Windparks speisen mir da im GW Bereich ein, dann sind das ein paar MW zu viel und die wollen dann zu den Ballungszentren, zu den Lastknoten oder

in den Zeiten Sonntagnachmittag zu den Pumpspeicherkraftwerken transportiert werden. Das ist ja genau der Sinn von dem System. Das ist ja eine Kumulation der Effekte, aber ich bin da schon nicht nur aufgrund meines Jobs bei XY der Meinung, dass hat ja auch schon oft der Prof. XY erklärt, dass elektrische Netze, leistungsfähige Netze volkswirtschaftlich gesehen ein extremes Potential haben. Dass die volkswirtschaftlich beitragen und der Handel ein extreme Effizientes System ist. Natürlich ich muss dann die Überschüsse ich muss die Erneuerbaren einsammeln und die erneuerbaren Energien mit den wenigen an Volllaststunden, gerade Photovoltaik die 1100 Volllaststunden hat, Wind vielleicht 2200, ja und diese 27TWh die fehlen im EAG, da wird man gefordert sein möglichst alles einzusammeln was man kriegen kann. Aber da muss man natürlich auch im Netz von da und dort ein bisschen transportieren. Also zu den Einspeisepunkten, zu den Lastknoten, wenn es eben nicht passt, teilweise auch importieren / exportieren, Speicher, was auch immer. Aber wir reden hier nicht von Leistung diese 27TWh, das sind 20 Gigawatt Kraftwerksleistung in Österreich haben wir jetzt 27 Gigawatt ca. installiert. Das ist eine Dimension, die ist gigantisch. Das nächste Thema ist dann die Photovoltaik, wenn es ein sonniger Tag ist, dann fahren die alle gleichzeitig. Die fahren, weil die müssen dann fahren wenn die Bedingungen dar sind. Und diese Leistungen muss man dann in die Netze bekommen. Das wird rein elektrisch gar nicht funktionieren. Also die ganzen Themen Power to Gas und so weiter, dass ist auch interessant das wir die Kombination von den Sachen brauchen. Also so viel Leitungen werden wir gar nicht so schnell bauen können wie wir brauchen, also für 20 Gigawatt. Eine Leitung über den Daumen kann 2-2,5 GW transportieren eine 380kV Leitung, da brauch ich dann überspitzt gesagt 10 Leitungen da und dort.

00:13:24

*Interviewer:* und bis einmal so eine Leitung steht, dass dauert dann auch keine 2 Jahre, sondern wird 10 bis 20 Jahre dauern. Wenn sie überhaupt gebaut werden darf, vermutlich?

00:13:31

*EXP04:* Genau, Genau, Genau!

00:13:34

*Interviewer:* Also sie sehen das eher als Kombination, dass man sagt, man verbraucht innerhalb von Österreich die Energie möglichst im Verteilnetz selbst und versucht, dass man die Energie möglichst wenig ins Übertragungsnetz eingespeist?

00:13:52

*EXP04:* Nein, das muss nicht der richtige Ansatz sein, die Aussage ist eher, wir haben Erzeugung am Lastknoten und die muss man zusammenbringen, räumlich und zeitlich zusammen kombinieren. Da wo wir die Erzeugung Schwerpunkte, das ist so ähnlich wie Offshore in Deutschland, da haben sie vor der Küste 40 Gigawatt Windkraft, dann kommen die 40 GW in Norddeutschland zum Netzbetreiber. Und dann, sagt er, ja ja, aber meine Lastknoten sind in den Industriezentren im Ruhrgebiet, im Süden in Bayern, da sind die leistungsstarken Knoten. Das Problem ist, sie müssen das dorthin bringen es fällt immer stärker auseinander die Regionen, wo sie es erzeugen, da brauchen Sie die Leistung, die Energie, die Energiedichte nicht. Und wo anders haben sie weniger Erzeugung und da brauchen sie die aber, dort müssen sie die hinbringen, also transportieren und verteilen. Das ist extrem in Deutschland, wenn man sich die Offshore Projekte anschaut, im Dreieck Ostsee, Nordsee vor England, Skandinavien, da reden wir von zick Gigawatt und gerade in Deutschland ist es so, die haben ein massives Thema. Es landet dann im



Norden von Deutschland aber dort haben sie nicht den Verbrauch. Es ist super viel und gut, wie viel Leistung und grünen Strom, aber dort kann ich ihn nicht verarbeiten.

00:15:05

*Interviewer:* In Deutschland gibt es da ja schon ganz interessante Projekte mit HVDC Leitungen vom Norden in den Süden runter etc. Ist es, wenn man vielleicht nicht Richtung Technologie blicken, wie man das ganz in Griff kriegen kann. Was fällt Ihnen da so ein, ist da HVDC ein Thema was auch in Österreich Sinn macht? Oder brauchen wir eher einen klassischen Leitungsausbau 380 KV 220 KV Leitungen?

00:15:31

*EXP04:* Ja, das Thema ist ein bisschen neu von der deutschen Seite, also neu ist es auch nicht mehr. Für so wirkliche Übertragungstrecken mit mehreren Gigawatt halte ich das schon für Sinnvoll, aller deutschen Modell. Ob Österreich mit der Vermaschung in der Struktur sind wir gedanklich noch nicht so weit, dass wir wissen, wie wir so was implementieren. Die Deutschen haben natürlich schon, die haben sich schon einiges überlegt. Die Dinge gehen auch schon bis 2010 zurück, soweit ich das kenn. Die Deutschen haben ja auch gemacht, dass die großen HGÜ Strecken dort anlanden, wo jetzt die Kernkraftwerke einspeisen im Süden. Die haben sich da schon einiges überlegt, das halte ich eigentlich schon für durchaus interessante gute Ansätze. Ob man das jetzt eins zu eins spielen kann für Österreich, das sind wir noch nicht ganz so weit in den Überlegungen. Aber generell, wie man es gestern auch schon gehört haben, das DC Thema von den unteren Spannungsebenen, dass wissen wir, Photovoltaik ist DC, Elektroauto ist DC, auch in Nieder- und Mittelspannung ist interessant. Das muss nicht nur Hochspannung sein. Aber das deutsche Modell, dass wir so eine Hochleistungsstrecke wie bei der Bahn durch Regionen schafft ob das ein Land ist oder der Kontinent, das kann durchaus wichtig und richtig sein. Davon gehe ich aus. Das könnte man durchaus auch europäischer sehen. Ich könnte eine HGÜ muss ja nicht in Deutschland oder Österreich sein, ich könnte sagen ich baue das von einem Land zum anderen.

00:16:54

*Interviewer:* Okay, und andere Technologien was Sie so sehen, was man nutzen muss, weil neben dem klassischen Leitungsausbau wird es wahrscheinlich andere Technologien auch benötigen oder Maßnahmen zumindest.

00:17:08

*EXP04:* Das ist schon einiges was ich anfangs erwähnt habe. Das Thema Sektorkopplung, Power to X, in allen Facetten mit den Überschneidungen mit dem Mobilität Sektor Also die Sektoren Integration, Sektor, Kopplung, Gas finde ich schon interessant. Das ganze Mobilitätsthema, wir wissen ja das der Strom auf den energetischen Seiten nur rund 20 Prozent des gesamten Energieverbrauchs ausmacht, Fossil. Dann sehen wir gerade in den großen Industriebetrieben stahlseitig, die sind auch extrem stark auf einem Technologie Shift, weg von fossilen Sachen, in Richtung Recycling, Elektroöfen, EAFs, jetzt hat es auch eine Veröffentlichung gegeben von Voest Alpine, das es extrem viel in den Stromsektor geht. Und teilweise einen Shift möglichst weg von Fossilen in allen Sektoren und Bereichen. Und wie ich gesagt habe, dass Speicherungsthema wir wissen das von Transportkapazitäten von einer Gaspipeline, über den Daumen hat man einen Faktor von 1 zu 10. Das Speichervolumen von Gas ist ein x-faches, 7 bis vielleicht 10fache energetisch gesehen als die Pumpspeicher. Auch Wasserstoff interessant, sicher. Das sind so die klassischen Themen, wo man die Ansätze hört.

00:18:28

*Interviewer:* Okay, super. Aber abschließend noch eine Frage, Sie haben es schon eingangs erwähnt, es drängen ja immer mehr Windparks, Photovoltaikanlagen etc. ins Netz. Die sind ja alle Umrichter betrieben mit Leistungselektronik. Sehen Sie, da ist von der operativen Seite hier Thema, das diese Leistungselektronik einerseits Probleme machen und andererseits auch wie sehen Sie jetzt den Verlust von der Schwungmasse im Netz?

00:19:03

*EXP04:* Ja, ja das ist so ein Thema, da hat man sich vor ein paar Jahren versucht zu beschäftigen. Am Anfang hat man auch ein bisschen Sorge gehabt, dass genau in das Thema geht, das die großen rotierenden Maschen teilweise verloren gehen. Da war die Befürchtung, das Thema kann interessant sein, in den ersten Simulationen, war interessant, hat sich aber gezeigt das über die Umrichter kurze energetische Leistungen oder Einspeisungen zur Verfügung sind. Man hat jetzt nicht den...es geht so viel rotierende Masse raus und man bekommt wirklich unbeherrschbare Problem. Das hat sich mittlerweile, soweit ich es verstanden, nicht bestätigt hat. Hat auch der XY bei der heurigen Tagung vorgetragen. Also dass man sich mit dem Thema beschäftigt, ist richtig, aber im Moment nicht so das nicht beherrschbar. Also auch Leistungselektronik und die Zwischenspeicherung in den Zwischenkreisen kann Beiträge bringen, andere Beiträge bringen, möglicherweise. Interessant Oberwellen, Oberschwingungen, das würde ich nicht unterschätzen von der Leistungselektronik, also die Verschmutzung im Netz. Und ich weiß auch auf unserem Sektor mit den Deutschen haben wir da vorhergehende Woche gesprochen gerade das Thema Blindleistung / Blindleistungsänderung, kapazitiv, induktiv, mich hoch volatilen Flüssen und Leistungsänderungen. Blindleistungs Thematiken werden schon noch interessant im Netz.

00:20:27

*Interviewer:* Eher in Hinblick, dass man jetzt wirklich aktiv, Blindleistung Lieferung über Umrichter betreibt oder einfach weil jetzt die ganzen Wechselrichter, die ganzen Anlagen mit einem  $\cos(\phi)$  von 0,95 oder 1 betrieben werden, dass dann einfach Blindleistungsmangel im Netz herrscht.

00:20:46

*EXP04:* ja eher verschieden, durch die hohe Volatilität kann es in bestimmten Netzbereich sein, dass ich sage, dass gilt auch für alle Spannungsebenen von der Topologie und so weiter ab, dass zu bestimmten Zeitbereichen, da wo ich bestimmte Netzbereiche habe, die sehr stark belastet sind oder auf der Mittelspannung hohe Verkabelungen haben, habe ich dann aufgrund der Verkabelung zu viel Blindleistung. Versus wenn ich dann hohe Belastungen lokal regional habe, brauch ich dann extrem viel Blindleistung, wenn ich dann bestimmte Elemente übernatürlich betreibe, oder auch die Transformatoren viel Blindleistung brauchen in Summe. Und das Blindleistungsthema ist eher eines auf der Höchstspannungsebene, dass weiß man von den Deutschen, die haben wahlweise auch schon alte Generatoren auf rotierende Umrichter, also Phasenschieber umgebaut. Das ist ein interessantes Thema Blindleistung. Das rotierende Massen Thema sehe ich nicht so dramatisch, Blindleistung, Spannung, Blindleistung auch Richtung Stabilität, Voltage-Collapse, extrem interessant. Und eher ein bisschen die Sorge, wenn viele viele Umrichter, die technisch auch immer besser werden, auch möglicherweise das Thema auf den unteren Spannungsebenen, abhängig von der Kurzschlussleistung eher Netzurückwirkungen, Oberschwingungen verunreinigen. Das könnte eher...da würde ich mir ein bisschen

mehr Sorgen machen als das Rausfallen der rotierenden Masse. Da durch die Umrichter und den Zwischenkreisen doch in Bereichen gut kompensiert werden kann, soweit ich das kenne.

00:22:12

*Interviewer:* Na super, dann sage ich einmal Vielen Dank, dass Sie sich die Zeit genommen haben.

**Interviewpartner:** EXP05

**Datum:** 29.12.2021

**Gesprächsdauer:** 36:03 Minuten

**Durchführung:** via MS Teams

00:00:00

*Interviewer:* Das sie sich bitte kurz vorstellen und kurz ein paar Worte zu ihrer Person und zu Ihrer Tätigkeit.

00:00:28

*EXP05:* Ja, also mein Name XY. Ich habe technische Physik auf der TU Wien als Bachelor studiert und Industrielle Energietechnik im Masterstudium an der Montanuniversität Leoben und bin jetzt seit Anfang 2017 am XY. Ich bin hier in der Abteilung Nachhaltige Thermische Energiesysteme. Im Researchfield industrielle Energieversorgung, in industrieller wie sie es nennen, Energieeffizienz, in industriellen Prozessen und Systemen. Ich habe mit meiner Dissertation angefangen und arbeite jetzt seit 1,5 Jahren als Researchengineer und sowohl in der Dissertation als auch in einem Großteil von der operativen Arbeit..jetzt beschäftige ich mich mit mathematischer Optimierung zur Versorgung von industriellen Energiesysteme. Also kosten optimale, aber auch Emissions minimale Versorgung von Energiesystemen. Wie kann man überhaupt Optimierungsprobleme formulieren, dass diese Zielkriterien erfüllt werden? Dadurch habe ich auch einen sehr starken Konnex zum Thema Dekarbonisierung in der Industrie. Dadurch ergeben sich dann auch Arbeiten am Studium, beispielsweise die XY Studie. Und das ist das, was den Arbeitsalltag definiert das Thema Dekarbonisierung, Kosteneffizienz und wie kann diese Transformation in der Energiewirtschaft und der Industrie aussehen?

00:01:56

*Interviewer:* Okay, danke sehr. Dann kommen wir auch schon zu Frage 1 und zwar "Welche Trends beherrschen Ihrer Meinung nach aktuell die Entwicklung der Energiewirtschaft, der Energieversorgung? Und was könnte in Zukunft noch relevant werden?"

00:02:13

*EXP05:* Also aus meinen Forschungskontext sind die Technologien und Themen, die ich sehr, sehr regelmäßig sehe sicher das Thema Wasserstoff über Wasserstoff hinaus, synthetische Gase bzw. alternative Gase auch in der Industrie für Hochtemperatur- Prozesse wo es einfach notwendig ist. Und dann weiter das Thema elektrische Energiespeichern bzw. Batterien das ist etwas, was in der Industrie mittlerweile immer mehr Thema wird. Ein bisschen weg von der Industrie, die die Ausläufer quasi, die ich jetzt noch aktiv mitbekommen habe, ist das Thema Smart Grids bzw. intelligente.....intelligentes Management von Energie Systemen und sehr stark auch die Elektrifizierung der Mobilität, also Elektroautos über weitere Fahrzeuge hinaus. Das sind die Trends, die sich ja jetzt schon großes Thema sind und wo noch viel Platz ist, dass auch in der Zukunft noch was dazu kommt. Also gerade zum Thema Alternative Gase, synthetische Gase. Das glaube ich noch sehr viel Platz das etwas passiert.

00:03:31

*Interviewer:* Vielleicht auch Trends jetzt, wenn man sich anschaut, betreffen die Trends hauptsächlich die die Industrie oder auch die allgemeine, die breite Bevölkerung und Konsumenten?

00:03:48

*EXP05:* also gerade das Thema Smartgrids bzw. den Smart Devices ist glaube ich von der kleinen Haushalts Ebene über Gewerbe bis hin in die Industrie auf allen Ebenen ein Thema. Gerade die Elektromobilität, das ist wahrscheinlich sogar für den Haushalt, ist in dem Fall falsch, aber für den individuellen Nutzer....stärker oder öfter ein Thema für die Industrie, weil ein Unternehmen mit weiß nicht wie vielen Mitarbeiterinnen hat vielleicht ein paar Elektroautos als Flotte dort lässt sich sehr leicht umsetzen. Im Haushaltsbereich und wenn man dann in einer Wohnung wohnt und keine Ladestelle hat, ist das ganze schon viel komplexer, da es sich dort der Umbruch größer. Das Thema alternative Gase, Wasserstoff, das sehe ich jetzt nicht unbedingt für den Haushaltskunden als sofort relevant. Also da ist auch die Exergie, dass das passt aus meiner Sicht nicht zusammen, so dass man mit einem hochkalorischen Gas, mit dem man 1800Grad in den Industrieprozess oder in den Umwandlungsprozess bereitstellen kann, dass man das nutzt, um sich 60 Grad warmes Warmwasser zu machen. Ich glaube, das wird wieder ein Umbruch sein, den wir in den nächsten Jahren sehen werden. Dass das diese hochkalorischen Energieträger eher dort eingesetzt werden, wo man auch einfach sehr hohe Temperaturen und hohen Exergiebedarf hat. Deswegen diese alternativen Gase Wasserstoff eher sicher im großen Bereich, wo man hohe Temperaturen benötigt. Batterien das kann natürlich auch ein bisschen sein, für Elektromobilität betrifft sicher den Haushaltsgeräten einfach massiv in den nächsten Jahren. Also nicht nur Industrie.

00:05:31

*Interviewer:* Okay, vielleicht auch zu dem Thema ganz kurz nur mit den alternativen Gasen. Das heißt, das ist eher dann auch die Thematik, der Sektorkopplung sozusagen, dass sich wirklich elektrische Energie nutze, um Wasserstoff zu erzeugen. Oder glauben Sie, dass andere Energieträger den Vorrang haben?

00:05:53

*EXP05:* Das ist jetzt eine subjektive Einschätzung. Ich glaube, dass es nicht nur der Wasserstoff sein wird. Einfach aus der Thematik, dass ich, wenn ich Wasserstoff verbrennen, ist das Volumen deutlich höher, als wenn ich jetzt zum Beispiel Methan aktuell verbrenne, den die Energie bezogen aufs Volumen ist deutlich niedriger. Das heißt, es wird oft vielleicht gar nicht möglich sein, dass sich das mit Wasserstoff ersetzt. Da brauche ich dann Synthetische Gase, wo ich irgendwo ein Kohlenstoff Molekül oder auch ein Sauerstoff vielleicht wieder einbringe, damit ich vielleicht bestehende Anlagen überhaupt nutzen kann. Deswegen glaube ich, dass das schon darüber hinaus noch andere alternative Brennstoffe oder Gase notwendig sein werden auch aus der Speicherbarkeit. Man kann Wasserstoff speichern, aber da gibt es effizientere Wege bei anderen Brennstoffen. Es muss nicht unbedingt nur das Gas sein kann auch ein flüssiger Brennstoff sein. Deswegen glaube ich, dass es wird nicht eine Lösung sein. Es wird nicht nur Wasserstoff, sondern gibt es mehrere Teilbereiche geben, die sich für manche Sachen besser oder schlechter eignen.

00:07:11

*Interviewer:* Und zu dem Punkt noch gerade in Richtung Industrie. Woher glauben Sie oder was vermuten Sie, wird da primär Energieträger sein, um diese Gase herzustellen, bzw. wie könnte ein Mix in Zukunft aussehen?

00:07:29

*EXP05:* Es wird sicher der, der der Energieträger, der extrem wichtig werden wird, der Strom sein. Das war auch in der Studie, die wir da als sehr stark gesehen, in welche Richtung das gehen kann, wenn man die

Industrie nur die Versorgung Dekarbonisierung möchte. Und da wird es dann noch einen Mix an Ausbauraten geben müssen. Es wird nicht nur PV sein, es wird nicht nur Wind sein, es wird nicht nur Wasserkraft sein. Ich glaube dort muss man. Da wo es sinnvoll ist und da, wo hohe Ertragsraten möglich sind, das bestmöglich nutzen. Gerade beim Thema Winter, das man Windräder dort hinstellt, wo Wind geht, wird eher Sinn machen, dass man sie wo hinstellt wo kein Wind geht. Das man Photovoltaikanlagen dorthin baut, wo hohe Zahl an Sonnenstunden ist, das wird auch Sinn machen. Gerade mit den alternativen Gasen. Das fehlt glaube ich oft noch, dass das Bild wo kann auch ein Kohlenstoff herkommen. Wo hat man sowieso Kohlenstoff Emittenten, die man nicht verhindern kann, auch wenn man die Energieversorgung Dekarbonisierung? Wo kann ich den wieder ins System einbinden? Also das man in Richtung Kreislaufwirtschaft geht und ich finde da ist jetzt da der Stand noch nicht so weit fortgeschritten, dass ich mir eine explizite Aussage erlaube, wo das herkommt. Da ist auch noch Platz für Forschung aus meiner Sicht. Die Frage ist noch nicht final geklärt.

00:08:55

*Interviewer:* Das heißt ihrer Meinung nach Wasserstoff ist grundsätzlich vom Technologie-Readiness-Level her ja schon weit fortgeschritten. Bei den synthetischen Gasen ist es noch eher niedriger?

00:09:09

*EXP05:* Wasserstoff ist sicher auch von der Forschung schon viel mehr passiert und dafür sind wir in ganz anderen Größen mit der Demo und Pilotanlage gibt. Also deswegen sicher der TRL viel weiter als bei anderen synthetischen Gasen.

00:09:26

*Interviewer:* Jetzt haben wir schon einige wesentliche Trends beleuchtet und auch schon Technologien. Was sind ihrer Meinung nach die Treiber für diese Entwicklung und für diese Trends in der Industrie vor allem?

00:09:41

*EXP05:* Also ich glaube schon, bestehende Treiber sind einfach sehr stark, die der Druck zur Dekarbonisierung, der sich jetzt auch durch Auswirkungen des Klimawandels auf einer politischen Ebene breit macht, ja also dieser Druck war vorher oder war sehr lange Zeit politisch wenig da. Aus meiner Sicht jetzt wird's mehr. Es könnte und es wird wahrscheinlich sogar noch viel mehr werden. Das, was jetzt im letzten halben oder doch halben Jahr sehr stark dazugekommen ist, was man lange Zeit ignoriert hat, ist einfach eine sehr starke Abhängigkeit von z.B. Gas exportierenden Ländern. Und jetzt ist die Aufregung relativ groß, weil Russland und sagen wir einmal Osteuropa da ja die Gasmenge limitiert in Österreich zum Beispiel die Speicher nicht 100% voll sind und man irgendwo sehen wird, dass wird knapp. Das ist aus meiner Sicht Jahrzehnte lang. Diese Abhängigkeit ist einfach akzeptiert worden, weil doch günstig war. Also wir haben immer wieder das Thema gehabt. Das Gas ist also günstig. Wir brauchen keine Wärmepumpe für unsere Niedertemperaturprozesse, weil das Gas kostet nichts und die wird sich erst weiß nicht nach sieben Jahren amortisieren, dann brauchen wir nicht. Also das sind schon ja, Herausforderungen, mit denen wir konfrontiert sind, und das ist aus meiner Sicht, wenn die Entwicklung so bleibt, wie sie jetzt ist, wird durch den starken Treiber einfach das Kostenthema für Gas oder auch der Strom. Solange ich fossile Kraftwerke im Mix drin hab, in dem Portfolio dann wird bei einem hohen Gaspreis auch der Strompreis hoch bleiben. Und dann kam natürlich der Ausbau von Erneuerbaren schon helfen.

Dass diese hohen Stromkosten zumindest nicht so eklatant sind. Und ich glaube, dass wir jetzt auch ein starker Treiber, dass sich da was ändert in Energie System. Oder hat das Potential ein starker Treiber zu werden, wenn die Preise so bleiben.

00:11:47

*Interviewer:* Okay und auch wenn man es wirklich dann anschaut, gerade zu diesem Thema der Dekarbonisierung der Industrie, 100% Erneuerbare. Was für Chancen/ Risiken sehen Sie an dieser Entwicklung?

00:12:04

*EXP05:* Also Chancen.....Chancen sind einfach, dass man Energieversorgung nachhaltiger gestaltet und vor allem die Folgewirkungen irgendwie einschränken kann. Ja, ich glaube auch die Chancen sind dass man Prozesse jetzt neu gestaltet und Energieversorgung neu gestaltet, vielleicht.....oder schaut sich an was kann ich ändern in meiner Energieversorgung und ich draufkommt, das läuft schon, was läuft nicht. Ich glaube, dass ein eine Chance für das Ganze birgt, doch dass ich ein großes Effizienz Potenzial noch mal aufzeige. Weil das was wir schon teilweise sehen ist, das Unternehmen oft den Eindruck haben, sie wissen sehr gut Bescheid, wo die Energie hingehet bei ihnen, und wenn sie sich dann wirklich detailliert anschauen. Also aus irgendeinem Grund müssen die, dass in Deutschland, das war sehr stark. Da gibt es diese Abschaltbare-Lasten-Verordnung und daraufhin haben sich Industrieunternehmen angeschaut, wo kann ich Lasten abschalten, ohne meinen gesamten Prozess zu gefährden und sind auf einmal auf Dinge draufgekommen, die vorher jahrelang unbemerkt waren. Ich glaube, das hat auch dieses sehr starke Auseinandersetzen mit der Energieversorgung Effizienz Potenziale birgt und somit die Chance Energie einzusparen. Risiken, der Prozess funktioniert nicht mehr so, wie er funktioniert hat. Wenn ich die Energieversorgung umstellt, dann ist es meine große Sorge bei Industrieunternehmen, dass es Einbußen gibt bei der Qualität, bei der Menge, die man produzieren kann, auch wenn man mit Industrieunternehmen redet, bezüglich Netz Dienstleistungen anbieten. Der Prozess, den sie selbst betreiben, ist das Kernstück, alles, was dabei geht, ohne den Prozess zu gefährden, ist okay. Darüber hinaus ist das Interesse sehr, sehr, sehr gering, was auch verständlich ist, weil wenn ich meinen Prozess gefährde mit etwas, was mir im besten Fall ein Nullsummenspiel ist oder ist, dann vielleicht ein bisschen Taschengeld. Es ist nicht....da ist die Attraktivität nicht besonders groß, ich glaube aber schon, dass wenn man mal ein bisschen umdenkt, dass die Chancen überwiegen. Das man vielleicht auch überlegt, was ist denn in Zukunft nötig? Ist es überhaupt nötig, dass ich in Zukunft 100 % von dem, erzeuge was ich erzeuge oder 110 %, weil momentan ist es schon die Divise, es muss alles mehr werden und wachsen und Wohlstand ist sehr, sehr stark über dieses Wachstum definiert und nicht in Richtung Brauche ich noch überhaupt so viel. Da glaube ich, wenn man das als großes Ganzes sieht, ein bisschen in die Zukunft, da sehe ich die Chancen doch überwiegen. Das ich auch in der Industrie vielleicht in Zukunft gar nicht mehr Energie braucht, sondern weniger. Und die halt auch besser kaskadisch nutzen kann. Dann ist einfach das Beschäftigen, mit dem mit der Energieversorgung glaube ich ein recht großes Potential, dass man das auch nutzt und effizient Potenziale aufdeckt.

00:15:06

*Interviewer:* Okay, vielleicht in dem Punkt gleich, wenn man zu der Studie kommt XY. Da gibt es ja eben unterschiedliche Szenarien. Ich habe mir dabei kurz stichpunktartig, aber ja keine Key-Findings für mich ist

zusammengeschrieben. Wenn ich die jetzt kurz vorlesen darf und ob sie die eventuell bestätigen oder sagen, das habe ich falsch verstanden. Einerseits wird der Strom als Energieträger gewinnt an Bedeutung.

00:15:42

*EXP05:* Mhhh, ja.

00:15:45

*Interviewer:* 100 % erneuerbare Energien sind nicht möglich am Strommix ohne Energieimporte.

00:15:57

*EXP05:* Da gibt es ein ABER. Wenn der Energiekonsum so bleibt wie er heute ist. Es gibt eine Arbeit, wo das Ganze mit Exergie bewertet wurde. Die ist von einem ehemaligen Dissertanten der Montanuniversität, der hat sich angeschaut Wie viel Primärenergie wird heute für Prozesse eingesetzt und wie viel Exergie brauchen diese Prozesse überhaupt? Und wie schaffe ich es optimal, das zu denken? Und da geht es sich schon aus. Das ist genau das Thema, das Sie vorhin schon angesprochen haben, Sektorkopplung und was ich jetzt ein bisschen angesprochen habe Einsparpotenziale aufdecken. Also das ist dann mit einem ABER zu versehen. Es war aber auch eines der schwierigsten, oder ist eines der schwierigsten Punkte aus der Studie zu übermitteln. Also so wie es jetzt ist, geht es nicht. Aber wenn man was tut, ist das schon Potenzial da und es ist Potenzial da, um was zu ändern. Das ist glaube ich eine wichtige Aussage.

00:17:10

*Interviewer:* Dann in allen Szenarien wird der Strombedarf steigen.

00:17:18

*Interviewer:* Ja, ja.

00:17:19

*Interviewer:* Zumindest im Effizienz-Szenario nur geringen.

00:17:22

*EXP05:* Nur gering, aber ja.

00:17:29

*Interviewer:* Es wird eine Unterdeckung mit elektrischer Energie geben in allen Szenarien?

00:17:36

*EXP05:* Zeitlich aufgelöst. Wenn sie nur aus Erneuerbaren kommt, dass das vielleicht auch noch mal als Ergänzung dazu gesagt. Da war ja die Annahme, dass ich die Erzeugung von elektrischer Energie ausschließlich aus erneuerbaren Energieträgern habe und dann käme es zeitlich aufgelöst auch zu einer Unterdeckung. Wenn ich davon ausgehe, dass ich weiter Gaskraftwerke habe, dann kann ich die natürlich dementsprechend betreiben, dass das nicht passiert. Ich sag es lieber nur noch einmal dazu.

00:19:47

*Interviewer:* Dann noch allgemein zu den Ergebnissen der Studie. Glauben Sie, dass man diese auf den gesamten Strommarkt für Österreich umlegen kann, also nicht nur die Industrie betrachtet?

00:19:57

*EXP05:* es ist man kann sich hier nicht hoch skalieren im Sinne von Industrie braucht, nur einen Drittel des Stroms und ich rechne einfach mal hoch Drei und dann habe ich ganz Österreich. Es gibt aber schon



Bestrebungen, dass man diese Studien erweitert für den Bereich Gewerbe und Haushalt. Dort sind die die Stromlast-Profil auch andere, die haben andere Formen. Wäre glaube ich noch spannend, dass man sich überlegt, was passiert, wenn man die Elektromobilität umstellt. Da hat man nämlich die Möglichkeit jeder lädt wenn er es braucht oder man gleicht das aus. Was das für einen Einfluss hat? Also einfach hoch skalieren geht nicht. Dass man das Ganze die Arbeit erweitert und auf die weiteren Sektoren auch Rücksicht nimmt, das ist sicher notwendig und sinnvoll und möglich. Aber einfach mal drei machen, das ist wahrscheinlich zu einfach.

00:20:48

*Interviewer:* Ja das wäre schön.

00:20:57

*EXP05:* Das hätten wir dann eh so reingeschrieben, aber es sind ja auch überall immer sehr viele Annahmen auch dabei. Irgendwo war dann mal, für diese Studie setzen wir einen Rahmen drumherum. Und da gibt es eine Systemgrenze? Aber es wird auch weiter in die Richtung gearbeitet.

00:21:16

*Interviewer:* Spannend bin ich schon gespannt darauf. Dann wenn wir uns noch ein bisschen die Technologien anschauen, Sie haben es ja schon anfangs erwähnt. Ähm, vielleicht konkret zu Frage 4 Welche Technologien glauben Sie, wird benötigt werden, damit die Energieversorgung aufrechterhalten werden kann? Aufgrund der aktuellen Gegebenheiten.

00:21:40

*EXP05:* Welche Technologien es aktuell gibt, oder?

00:21:45

*Interviewer:* Genau.

00:21:47

*EXP05:* Also momentan ist es für mich, wenn ich an Regelenergie denke, schon sehr viel konventionelle Kraftwerke und Pumpspeicherkraftwerke einfach noch, das was mehr wird sind Power to Head Anlage, z.B. Elektromobilität. Es gibt mittlerweile auch schon europäische Länder, die zum Beispiel Wärmepumpen einsetzen für negative Regel Reserve. Das ist in Österreich noch nicht präqualifiziert, die Wärmepumpe, aber ich meine Dänemark oder so war, dass die das schon verwenden. Sekundäre Energie kann dann darüber hinaus generell elektrische Speicher Systeme, Batterien und so weiter. Ist aus meinem zu meinem Gefühl das, was es aktuell gibt, ja, es gibt da noch drüber hinaus Engpassmanagement, aber das sind heute eigentlich nur die die konventionellen Kraftwerke. Also da gibt es sowas wie Elektroboiler noch weniger als in der Regelenergie jetzt schon. Genau. Es ist noch sehr konservativ, sage ich jetzt mal.

00:22:50

*Interviewer:* Und was glauben Sie, könnte in Zukunft an Relevanz gewinnen?

00:22:54

*EXP05:* Ähm, also das resultiert doch ein bisschen daraus was ich jetzt so tu. Ich glaube, dass generell mit anderen Ansätzen, wie zum Beispiel in den Smart Grids bessere Planung, vorausschauende Planung ist, möglich ist oder Prozesse, die heute weit davon entfernt sind, dort einzubinden. Also gerade das Thema Wärmepumpen, zum Beispiel diese Warmwasser-Speicher-Heizungen in der Nacht, ähm, und auch

Industrie Prozesse, dass die sehr viel Potenzial haben, Flexibilität zu bieten, wenn es entsprechende Anreize gibt und Rücksichtnahme auf den Hintergrund, den diese anderen Prozesse haben. Also, dass man mit Demand-Side-Management ist das ein großes Wort, das super ist, ja mit solchen Ansätzen auch Beiträge liefern kann. Gerade vor allem, um auf die Stärke der Erneuerbaren Raten einzugehen. Und ich glaube, dass man das, was man hat und verwendet, einfach sinnvoll nutzen muss. Da ist das Thema Sektorkopplung noch immer ein Thema. Es wird meiner Meinung nach immer Prozesse geben, die gasförmige Brennstoffe und flüssige Brennstoffe brauchen. Das wird jetzt übergangsweise sicher noch einmal Erdgas bleiben, kann aber in Zukunft denke ich in Richtung Wasserstoff und synthetische Gase oder Brennstoffe gehen. Und wenn ich diese Sachen schon mal verbrennen und dann sehr hohe Temperaturen hab, dann kann es durchaus Sinn machen, dass ich da noch über zum Beispiel Abwärme Kraftwerke nachdenke, also zum Beispiel einen Abhitzekessel und noch eine Dampfturbine, damit ich einfach bei sehr leichter Regel und steuerbaren Technologien bleibe. Das ist das Thema bei der Windkraft und Photovoltaik kann eigentlich immer nur in eine Richtung regeln, außer ich lasse von vornherein schon nicht laufen, aber auch irgendwie ein bisschen an der Idee vorbei ist. Wobei es gibt vielleicht einzelne Stunden geben, wo so viel Wind gibt, dass man sagt, man trägt bewusst schon Kraftwerk in Zukunft ab, aber es wird nicht die Regel sein, dass ich den nicht laufen. Und somit werde ich eigentlich immer nur in eine Richtung, die Möglichkeit zu reagieren. Und wenn ich da es schaffe Technologien zu integrieren, ohne mehr fossile Energieträger zu brauchen, die ich steuern und regeln kann, dann wäre schon viel gewonnen. Ist aber momentan auch in Österreich zumindest regulatorisch und politisch sehr sehr schwierig. Also noch gar nicht gefördert und somit für jedes Unternehmen, das es macht, ein hohes Finanzielles Risiko. Also da ist schon eine Möglichkeit da, dass man auf konventionelle Technologien zurückgreift, ohne mehr CO2 ausstoßen zu müssen.

00:25:43

*Interviewer:* Und Sie haben es kurz erwähnt, die politischen Rahmenbedingungen. Warum sehen Sie einerseits, dass die Regularien jetzt mehr werden. Andererseits welche politischen Maßnahmen müssen getroffen werden, damit man solche Technologien integrieren kann und auch ihr Ziel von 100% Erneuerbare schaffen kann in die Industrie.

00:26:09

*EXP05:* Also Regularien im Sinne von es gibt mehr. Ja ja. Also allein das es in Österreich noch einmal ein Vorstoß in Richtung CO2 Besteuerung kommt ist schon ein Schritt in Richtung es ist einfach mehr gibt es gibt auch von EU-Seite mehr. Also was da in den letzten Jahren an Paketen verabschiedet wurde auch in dem Rahmen Fit for 2050, dass wird einfach immer mehr. Auch das mit EU-Taxonomie, das ist ja jetzt auch relativ neu, dass sehr viele oder eigentlich jede Handlung von Unternehmen in einer gewissen Größe eingeordnet werden muss. Und zum Beispiel wenn Unternehmen für Kredite ansuchen, dass auch bewertet werden muss und schauen muss, ist das nachhaltig oder nicht? Wie die Unternehmen agieren? Ja, also allein dadurch wird ein riesen Brocken oder ein großes Paket an Maßnahmen noch dazu kommen, die für Unternehmen relevant sind. Gar nicht nur für Industrie auch in anderen Bereichen. Da ist glaube ich viel schon verabschiedet und bis es uns treffen wird oder im Alltag bewusst, werden wir noch das eine oder andere Monat vergehen denke ich. Weitere Maßnahmen, ich glaube, dass das Thema mit wie die Erneuerbaren gefördert werden. Dass sich das ändern sollte. Also dass ich zum Beispiel ja, es werden Biomasse Kraftwerke, die physisch mehr CO2 ausstoßen, gefördert. Wenn ich bestehende Abwärme

verwenden, die zu Dampf mache und durch eine Dampfturbine schicken will, wird das nicht gefördert. Grundsätzlich ok wenn Biomasse gefördert wird, aber an der Idee ist es ein bisschen vorbei. Ich sage, dass eine kann ohne mehr Primärenergie, mehr Strom liefern, muss sich aber immer wirtschaftlich ausgehen im Vergleich oder steht in Konkurrenz zu jenen Technologien, die halt voll gefördert sind. Und gleichzeitig wird es mehr CO2 ausstößt, stark gefördert? Ja, es ist wahrscheinlich mit jeder Förderung das Thema irgendwie. Einen großen Teil deckt es ganz gut ab und irgendwo gibt es dann was, wenn man das Auge zudrücken muss, weil es ein muss, ja, da passt es nicht ganz so ideal. Das ist für mich ein großer Punkt, dass man sich da auch was überlegt. Und das ist ja das, was die Industrieunternehmen stark sind, ist auch das Thema Standsicherheit. Es gibt sehr wenig Planbarkeit und Unterstützung in Richtung Planbarkeit und somit sind alle Maßnahmen, auch wenn sie sehr effizient sind und super Dekarbonisierung Maßnahmen sind nicht mehr interessant, wenn sie länger als 5 Jahre brauchen, um sich zu amortisieren. In Richtung Planbarkeit, Standort Sicherheit, wäre es gut, wenn es Unterstützung gibt, denke ich. Das Thema mit den Förderungen unterstützt.

00:28:49

*Interviewer:* Dann noch ein Thema was mich in Ihrer Arbeit gesehen habe, ist die Flexibilisierung, dass das ein wichtiges Thema ist der Trend zur Flexibilisierung. Ist es Ihrer Meinung nach Trend und was könnten Ihrer Meinung nach Ausprägungen sein von der Flexibilisierung, also Flexibilisierung Maßnahmen? Wie könnte das in Zukunft aussehen?

00:29:31

*EXP05:* Also ich glaube schon, dass das ein Thema wird es in Zukunft mehr Beitrag liefern kann Flexibilität auch zum Thema Versorgungssicherheit. Ähm. Also von dem her ersten Teil der Frage ja. Der zweite Teil war inwiefern, dass aussehen kann oder?

00:29:50

*Interviewer:* Genau, also was für Ausprägungen könnte dieser Trend annehmen?

00:29:52

*EXP05:* Also das kann in eine Richtung gehen, ich biete meine smarten Haushaltsgeräte oder meine Elektroauto Batterie an Finanzdienstleistungen in einem vordefinierten Zeitraum, wo ich weiß, da bin ich flexibel. Er ist halt auch ein bisschen ein Umdenken in Richtung Ich gebe dem anderen die Möglichkeit mit meiner Autobatterie zu arbeiten. Ähm, ich glaube auch, dass das immer nur geht, wenn keine entsprechenden Anreize gibt aus der Sicht der Industrie kann ich nur sagen, ich verschiebe zum Beispiel meine Erzeugung mit einer Wärmepumpe und habe einen thermischen Speicher, ich habe eine Batterie und kann dadurch den Strombezug zeitlich entkoppeln. Ich kann meinen Prozess zu einem anderen Punkt starten usw. ist auch viel zeitliches Potential da, ähnlich wie bei Autobatterien. Und ich kann, wenn ich im Wissen darüber, was sinnvoll ist, auch mit vielleicht Eigenerzeugungsanlagen in Industrie dementsprechend arbeiten. Ich kann meine Turbinen, die ich habe, vielleicht so betreiben, dass ich das Netz stütze, dass ich sie vielleicht sogar mal runterfahren und deshalb sinnvoll die Eigenerzeugung reduzieren, wenn sie sehr viel auf Spitze im System sind, das in die Richtung leichter gehen als in die Richtung ich speise etwas ein. Aber das lässt sich dann halt durch die zeitliche Verschiebung wahrscheinlich ganz gut auch mal abfedern. Es fehlt aber teilweise die Digitalisierung Maßnahmen und auch. Die die Werkzeuge, dass man das macht, ohne den Industrieprozess zu gefährden. Und

dementsprechend auch nicht ins Netz gibt, sind nicht unbedingt hilfreich, weil wenn ich sage, ich erhöhe, jetzt meine Leistungsbezug um 20 %, das mache ich jeden Monat und 22 % mehr Leistung mehr Preis. Krieg aber fast nichts dafür, weil der Netzbetreiber sagt, Nein...das sollte nichts kosten. Ich glaube, dass sich das nicht ausgehen wird. Da muss man schauen, so überlegen, dass da ein gewisser Anreiz da ist.

00:32:00

*Interviewer:* Und zu den Anreizen, könnte dass ihrer Meinung nach wie aussehen.

00:32:06

*EXP05:* Ja, zum einen finanzielle Vergütungen in Richtung okay, dann gibt es Gutschriften für noch übrig bleiben CO 2 Emissionen im Trading System oder auch Anrechnungen zum Beispiel für Effizienz, also es sind ja großen Unternehmen verpflichtet, ihre Energieeffizienz laufend verbessern. Wenn ich jetzt aber vielleicht mit meinen Anlagen Flexibilität bereitstelle, bin ich in schlechteren Betriebspunkten und wirke dem eigentlich entgegen. Wenn ich sage Okay, jetzt habe ich meine Effizienz nicht verbessert aber Flexibilität bereitgestellt, dann wird das auch angerechnet. Solche Anreize sind der nicht monetär. Und dann sind wir auf der anderen Seite deren Anreize oder monetäre Anreize für Unternehmen, eine Erleichterung für Netzgebühren, eine entsprechende Vergeltung des Aufwands, des Risikos, das auch entsteht. Das sind, glaube ich ja Punkte, die da relevant sein können.

00:33:02

*Interviewer:* Passt super, dann vielleicht so abschließend noch. Sie haben ja als Szenario, oder alle Szenarien sind so Best-Case-Szenarien, ich gehe davon aus 100% erneuerbare Energie, was ja eigentlich in alle Fälle wirklich sehr positiv wäre. Wie würde Ihr Worst-Case-Szenario für die nächsten 10 Jahre ausschauen, so stichpunktartig umrandet?

00:33:27

*EXP05:* Worstcase Sinne von es geht nicht in Richtung 100% erneuerbare Energie, oder?

00:33:39

*Interviewer:* Es wird sich nicht ausgehen.

00:33:48

*EXP05:* Zeitlich nicht ausgehen oder von der Energiemenge her?

00:33:51

*Interviewer:* Von der Menge her, zeitlich aber auch, dass die, die Umbruchmaßnahmen nicht schnell genug gehen.

00:34:01

*EXP05:* Also dass mit der Zeit ist in eine große Gefahr. Wir haben das damals in der Studie extra ohne Jahreszahl gemacht, weil wir gesagt haben diese Bewertung, da gibt es sicher bessere Expertinnen dafür. Ähm, das war jetzt Mal eine Gegenüberstellung kann sich überhaupt ausgehen, dass mit der Zeit ist ein Riesenthema. Aber ich habe auch das Gefühl, dieses Man muss sehr viel tun führt zu, dass sich ein sehr lähmendes Gefühl bereit machen. Genau nichts passiert. Also genau in die falsche Richtung. Ich glaube aber, wenn man zu lange wartet und so lange nicht versucht, es zu schaffen, dass die Industrie, die mit einer riesigen Unsicherheit konfrontiert ist und nicht weiß, was sie tun will, sich in Österreich vielleicht doch nicht halten kann bzw. dann auch mitteleuropäische Standorte einfach nicht mehr so attraktiv sein werden.

Das hat noch keine Planungssicherheit, gibt dann keinen klaren Blick, wohin es geht. Das sehe ich so als die zwei großen Punkte. Dass man einfach zu wartet, auch von der Politik bzw. die Maßnahmen, setzt die zu wenig sind. Und für die Industrie sich einfach nicht ausgeht und sie nicht wissen wohin und dann sagen es nicht mehr attraktiv. Wir brauchen vielleicht in Zukunft auch nicht mehr so viel Papier, das so viel Stahl. Und dann ist dieser Standort halt nicht mehr attraktiv in Zukunft. Ich glaube Österreicher sieht sich da schon oft als Technologie Vorreiter und grad in manchen Industriezweigen ist Österreich sicher auch sehr stark vertreten. Weltweit ist Österreich jetzt kein riesen Markt für Stahl, aber für Österreich ist die Stahlindustrie wichtig. Genau so die Papierindustrie und auch feuerfest, das sind alles energieintensive Industrien. Und wenn man da keine Planungssicherheit kommt, dann wird es halt langfristig schwierig. Also das geht es wieder weg von der Energie. Aber das ist doch eine große Gefahr in den Ganzen sehe. wenn es keine nachhaltige gemeinsame Richtung gibt.

00:36:03

*Interviewer:* Okay, dann sage ich vielen herzlichen Dank, dass Sie sich die Zeit genommen haben.

**Interviewpartner:** EXP06

**Datum:** 13.01.2022

**Gesprächsdauer:** 29:26 Minuten

**Durchführung:** via MS Teams

00:00:15

*Interviewer:* XY, dann danke, dass du Zeit für das Interview hast. Du hast dich doch vorher schon kurz vorgestellt. Wenn man dann gleich zur ersten Frage kommen und zum Ersten Teil. Da geht es nämlich um die zukünftigen Entwicklungen und die aktuellen Trends in der Energiewirtschaft. Und zwar wäre die Frage 1 "Welche Trends beherrschen aktuell die Entwicklungen der Energiewirtschaft und der Energieversorgung bzw. könnten in Zukunft noch aufkommen?"

00:00:48

*EXP06:* Äh, ja. Äh, ich würde sagen Ja, auf jeden Fall. Natürlich ist die gesamte Transformation des Energiesektors ein Trend und was da alles mit einhergeht. Also wenn es eine Transformation des Energiesektors ist, kann man Neutralität oder die Dekarbonisierung des Energiesektors entstehen kann. Und dann ist natürlich ein Aspekt davon, dass der Ausbau der erneuerbaren Energieträger da ist, auf jeden Fall auch das Erneuerbaren Ausbaugesetz richtungsführend oder sehr wichtig im Moment. Das sagt ja 100% erneuerbare Strom bis 2030 und ein Ausbau von 27 Terawattstunden von erneuerbaren Energieträgern. Als weiterer Trend allgemein ist die Elektrifizierung der verschiedenen Sektoren, natürlich insbesondere der Mobilität Sektor, aber auch in allen Bereichen, in denen es irgendwie möglich ist. Und damit einhergehend natürlich auch die Sektoren Kopplung bzw. Dekarbonisierung der Bereiche, wo eine Elektrifizierung nicht mehr nötig ist. Dann Wasserstoff zum Beispiel mehr eingesetzt wird, das sehen wir auf jeden Fall in Bereichen der Industrie. Und dann ein weiterer wichtiger Trend ist auch die Digitalisierung. Genau das man eben diese Richtung Smart-Grid sich irgendwann entwickelt. Die Netze automatisierter stattfinden, was ja schon bei den Übertragungsnetze weitgehend schon passiert, aber eben auf regionaler Ebene noch sehr wenig. Und dass das auch digitalisiert wird und dann auch so etwas wie die man Demand-Side-Management dadurch umgesetzt werden kann.

00:03:02

*Interviewer:* Super! Woher glaubst du, was sind so die die wesentlichen Treiber dieser Trends?

00:03:11

*EXP06:* Ähm, naja, auf jeden Fall die Klimakrise als Treiber. Das ist einfach notwendig ist die zur Dekarbonisierung dann natürlich auch andere politische Abhängigkeiten von der Abhängigkeit von Gas, also von Russland im Bereich von Gas und sonst mehr Energie Souveränität anstrebt in Österreich. Dann gibt es natürlich immer so ein bisschen diesen Widerspruch oder diese zwei Trends. Einmal der stärkere Netzausbau und eine große zentralisierte Netz, auf der anderen Seite auch die Dezentralisierung. Das Prosumer gibt, das eben Konsumenten auch selbst ihre Energie produzieren und viele Leute PV auf dem Dach haben. Und eine Ursache ist wahrscheinlich auch allgemein die die stärkere Verknüpfung der Systeme. Ja im Sinne, dass man eben ein europäisches gesamtes Stromnetz anstrebt. Und auch sonst die verschiedenen Bereiche auch aufgrund der mehr verknüpft werden müssen. Und genau da dann auf jeden Fall viel geschehen muss.

00:04:43

*Interviewer:* Du hast jetzt einen ganz interessanten Punkt angesprochen, nämlich diese diese Diskrepanz zwischen Dezentralisierung und Zentralisierung. Man braucht nicht davon reden, dass Erneuerbare mehr ausgebaut werden.

00:05:00

*EXP06:* Ja.

00:05:00

*Interviewer:* Wird es jetzt in Zukunft eher im großen Stil sein? Große Windparks? Oder ist das Potenzial, in kleinen Anlagen kleine Windparks, kleine Photovoltaikanlagen zu sehen?

00:05:13

*EXP06:* Äh. Ich glaube, ich will sagen auf jeden Fall, beides. Was schon auf jeden Fall also von seiner Regierung angestrebt wird ist, dass man jetzt sich erstmal fokussiert auf Dachflächen beim PV-Ausbau und nicht Freiflächen benutzt. Das würde ich eher sagen, dass es dezentralisiert ist. Sucht natürlich auch große Flächen. Es gibt auf diese eine Million Dächer Programm. Ähm, genau. Aber sonst wird man auf jeden Fall auch zentrale große Systeme brauchen werden. Damit ist die Versorgung sicher auch gewahrt ist. Genau. Aber es ist natürlich in Österreich, also aufgrund der Geografie und so ist es natürlich nicht wie in Deutschland, dass man irgendwo riesige Offshore-Windenergie bauen kann und natürlich aufgrund der Geografie muss es dezentralisiert sein als irgendwelche riesigen Wüsten wie die Sahara.

00:06:22

*Interviewer:* Zu Frage 3 noch bevor ich ein paar detaillierte Fragen stellen würde. Worin siehst du Chancen und Risiken dieser Entwicklungen, dieser Trends?

00:06:44

*EXP06:* Ähm, also Chancen werden auf jeden Fall einmal, das ist Schaffung von Investitionen von neuen Arbeitsplätzen, gibt es auch verschiedenste neue Kompetenzen, die da geschaffen werden müssen und sich dann die Wirtschaft auch in dem Bereich auf jeden Fall entwickeln kann. Dann ist es schon kurz, die die Energie Souveränität auf jeden Fall auch eine Chance, dass man eben genau so viel wie möglich in Österreich herstellen kann, an Energie nicht mehr so abhängig ist von den großen Gaslieferungen und so weiter. Und auch genau es gibt auch allgemeine Chancen noch für weitere Innovationen. Denn wenn der Bund, wie es jetzt weiter aussieht, strengere Regeln macht mit Klimaneutralität 2040 und die Rahmenbedingungen enger werden, dann müssen auch neue Innovationen geschaffen werden, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten und genug Energie erzeugen zu können und die Energieeffizienz zu steigern. Das ist natürlich auf jeden Fall eine Chance an. Zu Risiken würde ich sagen, dass genau diese Innovation und auch die die Digitalisierung ist, hat natürlich ganz klar auch hohe Risiken. Also anders die Frage von Datenschutz sehr wichtig. Und dann die Frage von Cyberattacken und neue, genau neue Bedrohungen, die bis jetzt noch nicht so wichtig sind. Auch dadurch werden es immer mehr vernetzter wird und mit einem anderen Punkt sozusagen verschiedenste Netze lahmlegen kann. Sehr großes Risiko. Ein Risiko ist es auch, das ist der Wandel sehr schnell gehen muss. Es ist ganz langsam passiert, dass auf neue Abhängigkeiten wieder entstehen und einfach auch neue Strategien entwickelt werden müssen, wie man die Versorgungssicherheit weiterhin gewährleisten kann, dass man das ganze System adaptieren

muss, zum Beispiel unsere Struktur umbauen muss. Genau das dann sehr viele Investitionen passieren müssen.

00:09:21

*Interviewer:* Vielleicht, vielleicht will nachher die Energiewirtschaft das elektrische Energiesystem ist ja doch sehr starres System. Man merkt, dass es eigentlich sehr viele Player im in diesem Bereich sehr konservativ eingestellt sind, dass Veränderungen oft nur sehr langsam vonstattengehen. Und jetzt haben wir doch einen Plan mit dem EAG und andere politische Ziele. Also im Prinzip im Wesentlichen die 100 % Erneuerbare. Wird es von Seiten vom Ministerium sicherlich positiv gesehen, aber die Risiken wären die einkalkuliert, wenn die berücksichtigt, dass man so schnell das Energiesystem umbaut und transformieren möchte?

00:10:13

*EXP06:* Natürlich wird das berücksichtigt, es gibt auch eine Abteilung für Krisenmanagement im Ministerium. Die Frage des Blackouts war auch sehr medial präsent und da werden auch weitere Strategien erarbeitet. Und es ist auf jeden Fall wie bei jedem Projekt, jeder Planung wird immer. Es ist die Frage natürlich, ob die Versorgungssicherheit gewährleistet kann. Es ist natürlich ein wichtiges Ziel für das Ministerium und genau ich stehe da drüber. Aber es wird halt auch gesehen, dass es sozusagen jetzt notwendig ist, dieser Wandel so schnell stattfindet, da ja eben weil es so konservativ ist, solange nichts geschehen ist und genau das Ziel gesetzt wird die Klimaneutralität 2040 das zu erreichen, um eben noch die schlimmsten Folgen des Pakets irgendwie abwenden zu können. So genau.

00:11:13

*Interviewer:* Aber natürlich überwiegen die Chancen und positiven Aspekte davon?

00:11:20

*EXP06:* Ja, ich meine, selbst wenn nicht, ich glaube es muss es sein, die Sicht ist, das jetzt etwas geschehen muss, dass die Energieversorgung so treiben kann, weil dann die Risiken noch viel höher wären und deswegen muss einfach ein Wandel stattfinden. Und da wird natürlich immer geschaut, man kann das nicht von heute auf morgen machen, das ist sowieso klar. Dann wird die Versorgung sicher nicht mehr gewährleistet, sondern man muss es halt so schnell wie möglich umbauen und dabei immer beachten, dass es genug Energie für alle zur Verfügung steht. Und sichere und leistbare Energie vielleicht.

00:12:04

*Interviewer:* Eine aktuelle Entwicklung, um die kurz anzusprechen. Und zwar sehen Sie den aktuellen Anstieg des Strompreises als fortlaufender Trend. Und was glauben Sie, sind dafür Ursachen und auch Entwicklungen mögliche?

00:12:28

*EXP06:* Also als Vorläufer kann ich jetzt leider nichts sagen, da wenn ich nicht die richtige Expertin dafür aber zu den. Also wäre auf jeden Fall klar die Meinung, das ist jetzt nicht am Ausbau der erneuerbaren Energien, sondern an der Gaskrise, der ja doch immer noch sehr viel Beachtung in Deutschland, sehr viel Strom aus Gas produziert wird und das allgemein die Energiepreise in die Höhe treiben bzw. gibt es ja allgemein als die Inflation. Es kann nicht an einem Grund nur festhalten die Energiepreise insgesamt. Die Inflation ist natürlich auch jetzt gegeben in Folge der Corona Pandemie. Genau sonst ist es natürlich so



wenn Strom aus erneuerbaren Energieträgern produziert wird, ist sehr viel günstiger im Allgemeinen. Natürlich gibt es immer auch mehr oder sind immer mehr Redispatch-Maßnahmen möglich, die den Preis dann auch wieder in die Höhe treiben. Kraftwerke kurzfristig komplett hoch und wieder runtergefahren werden müssen. Das hat dann natürlich schon Einfluss. Aber generell ist die Entwicklung zu erneuerbaren Energien zu diesem 100% erneuerbaren Energieträgern aus Strom, aus erneuerbaren Energieträgern. Und da ist jetzt auch nicht die Erwartung, dass die Preise deswegen immens steigen würden.

00:14:05

*Interviewer:* Na super. Ja, man hat es auch gesehen, wie die Auftrennung vom deutschen und österreichischen Strommarkt war. Wie die Preise hochgeschossen sind. Es ist sicherlich positive Entwicklung. Also dass der Strompreis hoffentlich wieder runtergehen wird. Und Sie haben ja einen Punkt angesprochen. Sie beschäftigen sich auch mit Ausbauszenarien also wo Leitungen gebaut werden könnten, wo Windräder gebaut werden könnten, wahrscheinlich auch Speicherkraftwerke zum Beispiel. Sehen Sie jetzt vielleicht aktuell auch die Entwicklung, dass das die Protestkultur der Bevölkerung zunimmt, dass die Bevölkerung Infrastrukturprojekte gerade im Bereich Ausbau von Stromleitungen, Ausbau des Stromnetzes, Ausbau von Speicher, Kraftwerke, aber auch Windräder eher kritisch beäugt ist?

00:15:09

*EXP06:* Das ist auf jeden Fall eine ganz schwierige Frage. Auf jeden Fall die der Ausbau der Salzburg Leitung hat sich auf jeden Fall so lange gezogen, weil wir eben so viele Verfahren waren, die an den wahren und es sich deswegen so in die Länge gezogen hat, dass die Genehmigungen endgültig da waren, jedes, jede einzelne Klage abgehandelt werden musste. Genau das, das verlangsamt auf jeden Fall den Ausbau der Netze und nach Allgemeinen wird es bei anderen Großprojekten wieder der Fall sein, da es eben auch wirklich die Frage, wie man das sicherstellt, dass der Ausbau zügig genug geschehen kann. Da gibt es dann immer die Diskussion, auch viele fordern vor allem dann Erdverkabelung der Netze. Aus der Sicht, dass die Landschaft nicht zerschnitten wird, macht es sicher auch Sinn. Andererseits sind die Kosten da halt auf jeden Fall sehr viel höher und Umwelt wirklich aus dem Naturschutz Gedanken im Umweltschutz gegangen ist nicht das Landschaftsbild. Es ist auch nicht ganz klar, welches dann im Umweltschutz ist. Da muss man immer genau schauen, was im Boden da gerade ist. Der einzelnen Trassen Verlegungen, also die Vögel werden immer genannt, natürlich als Argument gegen die Freileitungen. Aber wenn es in den Gebieten von Feuchtgebieten oder so verlegt werden muss, dann sind eigentlich die, die Freileitungen doch Umwelt schützender, als diese Erdverkabelung genau. Aber zu den Protesten auch bei Wind ist es ja interessanterweise so, dass es in den Bundesländern, wo bereits Windkraft steht, die Akzeptanz eigentlich höher ist als in den Bundesländern und steht. Und genau da muss man auf jeden Fall irgendwie mit der Bevölkerung zusammenarbeiten können. Das da die Akzeptanz gesteigert wird, dass Projekte wie die Natur, verträgliche Energiewende, wo dann versucht wird mit den Umwelt NGOs, die auch viele Proteste am meisten sind, zusammen Konzepte zu überlegen, wie man eben diesen Wandel so umweltverträglich wie möglich erreichen kann. Das ist ein schwieriges Dilemma zwischen Klimaschutz und Umweltschutz. Und genau auch die Umwelt NGOs sehen, dass der Ausbau der erneuerbaren Energieträger notwendig ist und im Endeffekt ja auch die Umwelt zu schützen, die Umwelt nicht geschützt. Aber dies bedeutet auch immer einen Eingriff in die direkte Umwelt. Aber es gibt schon verschiedenste Strategien und so ist es so gut wie möglich zu machen und zum zur Akzeptanz der Bevölkerung gibt es jetzt auch genau erste Initiativen oder erste Trends dahin, dass man eben die regionale Bevölkerung mitnimmt bei dem, außer

dass sie mitbestimmen können bzw. Anteile kaufen können. Dass dann auch die Akzeptanz sich mehr steigert, weil sie eben dabei sind oder direkt involviert sind.

00:18:23

*Interviewer:* Förderung von Energiegemeinschaften ist das sicherlich ein guter Weg?

00:18:26

*EXP06:* Genau, Energiegemeinschaften ist auch ein gutes Ding. Aber es gibt zum Beispiel auch bei Windkraftanlagen, die ersten Ideen des Leute wirklich Anteile von Windkraftanlagen kaufen. Ist jetzt noch nicht veröffentlicht dazu. In Deutschland gibt es schon erste Maßnahmen in die Richtung. Die Energiegemeinschaft ist natürlich auch genau ein Weg, die Bevölkerung mitzunehmen. Die allgemeine Bevölkerung in der Energiewende und auch eben dieser integrierte Netzinfrastruktur Plan soll auch ein bisschen dazu dienen, die Kenntnisse zu erweitern, besser klar zu veranschaulichen, was alles notwendig ist und wo was geplant ist. Und so ist dann eben durch Wissen irgendwie die Akzeptanz oder ja auch steigern kann.

00:19:17

*Interviewer:* Okay, dann wenn man vielleicht zum Zweiten Teil vom Interview kommen, nämlich den Technologien. Darf ich sie diesbezüglich auch befragen? Ich glaube da kennen Sie sich sicherlich auch gut aus.

00:19:37

*EXP06:* Ja gerne und EXP07 schickt dann noch etwas nach.

00:19:46

*Interviewer:* Was sind aus Ihrer Sicht die wesentlichen Technologien zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit.

00:19:52

*EXP06:* Mit Technologien was ist genau gemeint?

00:19:58

*Interviewer:* Also im Prinzip konkret eigentlich so Elemente der Versorgungssicherheit, also sprich jetzt das können eigentlich ganz diverse Sachen sein, das können Erzeugungsanlagen sein, aber es können auch zum Beispiel Batteriespeicher sein, es können dann regelbare Trafos sein. Das könnten jetzt Technologien sein, welche Systemdienstleistungen erbringen.

00:20:31

*EXP06:* Ja, denn dann ist natürlich die Schaffung von Flexibilität ist natürlich ein ein wichtiger Aspekt, den man durch Technologien erreichen kann. Also einmal den Netzausbau allgemein, dass mehr Ausgleich im Netz passieren kann, dass man die Elektrizität von Bereichen, wo Überproduktion es zu Bereichen, wo gerade zu wenig Produktion ist, transportieren kann, dass es eben auch grenzüberschreitend einen Ausgleich stattfinden kann, genug Ausgleich gibt. Dann die Energiespeicherung sicherlich weiterer Aspekt von dieser Flexibilität und natürlich die Kurzzeitspeicher wichtig, wie Batterien und aber auch längere bis ganz lange wie ein Pumpspeicherkraftwerk oder chemische Speicher. Genau dann sind diese Redispatch-Maßnahmen auch ganz wichtiger Aspekt um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Also das man Engpassmanagement macht und Kraftwerke, wenn ich die hochfährt oder eben herunterfährt. Dann werden

natürlich auch Maßnahmen, weitere Maßnahmen zur Flexibilität wie die Demand-Side-Management wichtig. Genau das man da Sachen schafft, das E-Autos nur geladen werden, wenn die Sonne scheint. Mittags mit PV-Anlagen die Strom produzieren. Das ist natürlich auch ein sehr digitalisiertes System voraus. Hier im Fall von einem Stromausfall sind dann natürlich auch die Kraftwerke wichtig, die die schwarzstartfähigen Kraftwerke die hochfahren können. Genau allgemein die Digitalisierung in den Netzwerk Digitalisierung für Wetter Vorhersagen. Es wird tatsächlich jetzt schon sehr viel gemacht, aber es wird ja auch immer noch weiterentwickelt, der verschiedenste Handel, also der Verknüpfung mit Handel und Vorsagen und so weiter.

00:23:00

*Interviewer:* Also in Richtung BIG Data und KI?

00:23:06

*EXP06:* Genau.

00:23:07

*Interviewer:* Und was glauben Sie, könnte in Zukunft noch wirklich wichtig sein? Gibt es Technologien, die jetzt noch in den Kinderschuhen sind und vielleicht wirklich Potenzial hätten?

00:23:22

*EXP06:* Ähm, naja, der Einsatz von Wasserstoff ist natürlich jetzt noch sehr gering. Das soll auch ausgebaut werden, kann ja dann auch als Speicher genutzt werden. Obwohl natürlich dann die Frage der Effektivität oder wie effizient das noch alles ist, menschlich sehr wichtig ist. Genau. Ja, und sonst ist der Smart Grids und so kann natürlich sich auch noch weiter ausbreiten. Gibt es jetzt noch nicht so viel wird sicher weiter ausgebaut werden neue Arten noch Energie zu speichern, noch weitere Batterie Systeme. Ich meine auch Innovationen in Richtung soziale Innovation oder Innovation für Energieeffizienz. Dass er eben weil meist gesagt wird, das also die Nachfrage nach Strom wird natürlich sehr steigen, aber allgemein die Nachfrage nach Energie ist gleichbleiben und eigentlich wird damit gerechnet, dass es eine Halbierung der Energienachfrage geben muss zur Erreichung der Klima Neutralität. Dafür braucht es natürlich auch sämtliche Arten der Innovation, nicht nur technologische, auch soziale Innovationen.

00:24:50

*Interviewer:* Ist spannende Punkt. Und was sind Technologien die mehr gefördert gehören in Zukunft?

00:25:25

*EXP06:* Also die Wasserstoff Förderung steht noch aus. Ist eine Strategie ist seit einem Jahr angekündigt, vielleicht bald veröffentlicht wird. Das wäre natürlich sicher ein Punkt. Und sonst? Ich glaube, es ist im Moment eigentlich wichtiger die Ziele, die jetzt gesetzt sind, irgendwie zu erreichen, diesen Ausbau der Gesetze zu erreichen, da gibt es ja auch schon Förderungen. Das ist wirklich eher die Frage der Flächen, wie man die findet. Und die Frage der Akzeptanz als die Frage jetzt noch von weiteren Förderungen und bei genau verschiedensten neuen Technologien kenne ich mich nicht so gut aus. Genau weiß ich jetzt nicht.

00:26:18

*Interviewer:* Vielleicht noch abschließend, und zwar auch in Richtung Regularien. Glauben Sie, dass dieser Entwicklung, dass Regularien mehr werden und dass die strenger werden?

00:26:36

*EXP06:* Ähm, also ich denke, dass es auf jeden Fall eine Entwicklung, die wir bis jetzt schon feststellen können, dass die Regularien immer mehr und länger wurden. Im Allgemeinen wird das System immer komplexer, heißt es muss mehr reguliert werden. Es ist natürlich länger, was natürlich sehr schwierig ist da sozusagen normale Personen, die sich nicht mit dem Thema so intensiv beschäftigen. Ähm, natürlich immer schwieriger wird, dadurch zu schauen und das zu verstehen und da die Hürde da einzusteigen immer schwieriger wird, deswegen muss da auf jeden Fall noch was getan werden so verständlich wie möglich zu haben. Aber ich denke, die Bereiche, die reguliert werden und reguliert werden müssen, werden im Allgemeinen eher mehr.

00:27:29

*Interviewer:* Und glauben Sie die Regularien im Widerspruch zwischen wirtschaftliche Aspekte und auch Themen der Netzinfrastruktur und Energie Sicherheit bzw. Versorgungssicherheit? Wenn ich jetzt Punkt zum Beispiel als Beispiel nehme wie Last-Abschaltung. Man darf nach der TOR bei gewissen Erzeugungsanlagen darf der Netzbetreiber einfach sagen okay, "einfach sagen", aber darf Last Management betreiben und Lasten (Erzeugung) reduzieren. Glauben Sie wird, dass Sie in Zukunft eher besser für wirtschaftliche Akteure oder so wie jetzt, dass man sagt, Okay, schaut eher auf die Versorgungssicherheit. Dass der Netzbetreiber kostenlos auf diese Systemdienstleistungen zugreifen kann.

00:28:21

*EXP06:* Nein, ich glaube, für die wirtschaftlichen Akteure ist es auch nicht so gut, wenn sie weniger Lasten abnehmen wird, aber es dann zu einem Ausfall kommt und Intensität und im Endeffekt ist es schlimmer für die für die wirtschaftlichen Akteure. Deswegen. Tja, würde ich jetzt nicht sagen, dass es im Sinne, der der Unternehmen wahrscheinlich geändert wird, bald. Da man irgendwo eben diese Versorgungssicherheit gewährleisten muss und im Krisenfall eben eingeschritten werden muss. Und natürlich Je mehr Speicher und je mehr andere Lösungen gefunden werden, desto weniger muss irgendwo eingeschritten werden. Müssen irgendwelche Fabriken, die Standorte abgeschaltet werden, aber. Sehe ich jetzt keine Änderungen momentan von der Entwicklung.

00:29:26

*Interviewer:* Okay, dann sage ich mal vielen Dank für das Interview.

**Interviewpartner:** EXP07

**Datum:** 17.01.2022

**Gesprächsdauer:** -, -

**Durchführung:** schriftlich

**Frage 4:** Welche Technologien zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit sind Ihnen bekannt?

**Engpassmanagement/Redispatch** als Maßnahme/Technologie um Engpässe im Übertragungsnetz zu vermeiden oder zu beseitigen: Bei Netzüberlastungen greift der Regelzonenführer (APG) in den Kraftwerksbetrieb ein (z.B. Leistung hochfahren / senken) um Netzengpässe auszugleichen. Um eine entsprechende Versorgungssicherheit zu gewährleisten zu können, braucht es verstärkt Kooperation unter den Netzbetreibern, vor allem bei der Durchführung von Redispatch-Maßnahmen.

**Konkrete Maßnahmen/Technologien zur Versorgungssicherheit im Rahmen von Frequenzschwankungen (Leistungs-Frequenz-Regelung)**: Ab- oder Zuschaltung von Erzeugungsanlagen, flexiblen Kapazitäten (Pumpspeicher, Back-up Gaskraftwerke, Kraftwerke der Regelreserve, Batteriespeichern, ect.); Abkopplung großer Industrieanlagen.

Liegt im Zuständigkeitsbereich der APG, die für die Frequenz-Leistungs-Regelung im österreichischen Übertragungsnetz zuständig ist.

**Netzreserve (bzw. Beschluss zur Netzreserve)**: Mit dem Beschluss der Netzreserve wurde ein wichtiger Schritt zum Weiterbetrieb konventioneller Kapazitäten gesetzt. Viele alte Anlagen stehen ab 2030 vor ihrer Stilllegung, Kapazitäten müssen durch moderne und effiziente Kraftwerke ersetzt werden. Braucht klare Rahmenbedingungen und Marktmechanismen, die eine wirtschaftliche Errichtung dieser Anlagen ermöglichen.

**Leitungsausbau**: Erforderlich durch die Zielsetzungen zur Energiewende und eines integrierten europäischen Strommarktes (EAG, „Clean Energy for All Europeans“-Paket, ect.) Bestehende Netzinfrastruktur ist nicht für die Anforderungen durch die massive Ausbauten erneuerbarer Energieträger ausgelegt (steigender Spitzenlastbedarf, erhöhten Bedarf an Transportkapazitäten, zusätzliche Verteilerkapazitäten). Es liegen bereits strukturelle Engpässe vor, denen durch einen kontinuierlichen Netzausbau entgegengewirkt wird.

Zusammengefasst resultieren aus dem NEP 2021 der APG folgende Ausbauprogramme im Übertragungsnetz der APG:

- neue Leitungen im Übertragungsnetz von mindestens rd. 240 km Trassen-km
- Umstellungen von rd. 110 km bestehende Leitungen auf höhere Spannungsebenen
- Generalerneuerungen von Leitungen mit rd. 290 km
- 20 neue Umspannwerke („green field“ UWs) bis 2030 zur Verstärkung der Anbindungen der Verteilernetze sowie Ausbauten bestehender Umspannwerke mit zusätzlichen Transformatoren

**Pumpspeicherkraftwerke zur Netzstabilisierung:** Ausgleich von Defizite in der Stromproduktion. Eignen sich vor allem als Mittelfristspeicher bzw. auch als saisonaler oder Langzeitspeicher (Speicherung von Stromüberschuss im Sommer und Entladung im Winter).

**Frage 5:** Welche Technologien könnten Ihrer Meinung nach in Zukunft eingesetzt werden und einen Beitrag zur Versorgungssicherheit leisten?

**Neben Netzen und Erzeugungsanlagen müssen in Zukunft auch die Speicherkapazitäten massiv erweitert werden, um Versorgungssicherheit zu garantieren:** Viele Speicher und Anlagen der Sektorkopplung, wie Power-to-Heat oder Power-to-Gas, sind derzeit wirtschaftlich nicht darstellbar und werden primär über Forschungsprojekte realisiert. Speicher werden nicht nur im Umgang mit kritischen Netzengpässen eine wichtige Rolle spielen, sondern auch bei der saisonalen Verlagerung. Künftig muss es uns gelingen, überschüssige Energie längerfristig und in größeren Mengen zu speichern und die Entwicklung innovativer Speichertechnologien, neben bereits etablierten Speicherkapazitäten (Pumpspeicherkraftwerke), zu forcieren.

**Elektrochemische Energiespeicher & Micro grids:**

- Batterienspeicher (v.a. Lithium-Ionen- oder Nickel-Cadmium) als Kurzzeitstromspeicher geeignet (aber mit stark begrenzter Kapazität). Einsatz: bei den Erzeugern, zwischen den verschiedenen Netzebenen (Hoch- bis Niederspannung), aber auch bei Endverbrauchern.
- Micro Grids: kleine, dezentrale Stromnetze und Quartierspeicher
- Batterien auf Basis ökologischer Rohstoffe

**Power-to-Liquid:** Überschüssige Stromproduktion zur Produktion von Methanol. Kann verlustfrei, unabhängig und einfach transportiert werden (keine neue Infrastruktur notwendig, guter Langzeitspeicher). Synthetischer Energieträger, der jederzeit wieder verstromt werden kann. Einsatz: Sicherstellung der Bandenergie oder Ausgleich von Spitzenlasten bzw. in der KWK

**Wasserstoffspeicher & Brennstoffzellen:** Rückverstromung von Wasserstoff mithilfe von Brennstoffzellentechnologie bzw. Brennstoffzellen, die direkt mit Wasserstoffträgern betrieben werden. Einsatz: in bestehenden thermischen Kraftwerksbereich durch Zumischung für die Bereitstellung von Regel- und Spitzenleistungen.

**Interviewpartner:** EXP08

**Datum:** 31.01.2022

**Gesprächsdauer:** 29:41 Minuten

**Durchführung:** via MS Teams

00:00:11

*Interviewer:* So, und zwar sie haben im Prinzip einen Fragenteil zu zukünftigen Entwicklungen und Trends vorbereitet und einen zu Technologien. Das sind jetzt eher allgemeine Fragen und dann hätte ich noch ein paar spezifische Fragen vorbereitet. Und zwar die erste Frage wäre, welche Trends beherrschen die aktuelle Entwicklungen Energiewirtschaft und Energieversorgung bzw. könnten in Zukunft noch aufkommen?

00:00:45

*EXP08:* Trend ist sicher ganz massiv, zumindest was Österreich betrifft die Integration der erneuerbaren Energieträger oder Erzeugungsanlagen und damit verbunden, die diese komplette Umgestaltung des elektrischen Versorgungssystem, so wie wir es kennen seit 100 / 120 Jahren. Das würde ich sagen, ist der Megatrend der Energiewirtschaft oder der Energieversorgung, momentan. Der eine Plus auf der Verbraucher Seite diese Digitalisierung in dem Sinn, der Rollout der Smart-Meter, der ja letztendlich in ganz Europa gerade stattfindet und auch bei uns massiv beschäftigt und der dann am Ende den Konsumenten den Endverbrauchern eine Möglichkeit geben wird, über ihr eigenes Verhalten genauer Bescheid zu wissen. Und aber auch vice versa den einzelnen Energieversorgern oder Netzbetreibern mehr Daten oder zeitnahe Daten über das Verbrauchs Verhalten ihrer Kunden ermöglichen will. Das würde ich sagen ist der zweite ganz große Trend.

00:02:02

*Interviewer:* Okay, fallen dir sonst noch Entwicklungen ein?

00:02:07

*EXP08:* Der dritte ganz große Trend ist mit dem ersten verbunden, die Umgestaltung der Netztopologie. Wenn man jetzt den Schritt aus Österreich hinaus macht, auch Österreich betreffend, aber ganz Europa betreffend, dass man nicht nur versuchen muss, diese Erneuerbaren zu integrieren, sondern auch mit dem Wegfall großer Erzeugungseinheiten, der AKW Ausstieg in Deutschland, die großen Kohlekraftwerke, die auch in Deutschland zum Teil vom Netz gehen, bzw. dieses Ost-West-Gefälle der Erzeugung, das abzufedern bzw. durch Netzausbau möglichst ja trotzdem die Versorgungssicherheit aufrecht zu erhalten oder vielleicht sogar noch zu verbessern. Das ist schon ein gesamteuropäisches Thema.

00:03:01

*Interviewer:* Wenn wir zu dem Punkt kommen Netzausbau. Es sagen ja die meisten Experten, dass das wahrscheinlich das Hauptthema sein wird, um die Energiewende zu schaffen, um auch die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Wie siehst du das in Hinblick auf sozusagen Protestkultur in der Gesellschaft, dass sich immer mehr Leute wehren gegen diesen Ausbau von Netzen, von Leitungen und auch anderen Infrastrukturmaßnahmen wie Umspannwerk? Ist das Thema, was dich aktuell beschäftigt?

00:03:36

*EXP08:* Ja, absolut. Es ist definitiv ein Thema, auch ein negativer Trend, der leider zu beobachten ist. Das Netz ist sicher ein Schlüsselfaktor für das Gelingen der Energiewende nicht nur in Österreich, sondern in ganz Europa und gerade auch in der öffentlichen Diskussion immer mehr ins negative Rampenlicht, wenn man so will, weil die Leute das einfach natürlich verständlicherweise nicht vor ihrer Türe stehen haben wollen. Derartige Leitungen aber die Salzburg Leitung der APG nennt diese Verbindung des 380 KV Österreichs-Rings ein großes Thema. Oder ich erinnere in der Steiermark hat über 20 Jahre gedauert diese Ost Südost Verbindung mit der ‚Steiermark-Leitung‘ zu bauen und jede weitere Leitung, die nur in Planung ist, ruft sofort Widerstand in der örtlichen Bevölkerung, Bürgerinitiativen etc. hervor. Bei Umspannwerken beobachtet man das eher bei Bestandsanlagen eigentlich. Das war grundsätzlich immer so, dass man Umspannwerk weit weg oder eher weiter weg an die Peripherie der Siedlung gebaut hat. Schon in weiser Voraussicht, dass dies natürlich ein gewisser optische und akustische Störfaktor ist. Und jetzt rückt quasi durch die Zersiedelung gerade in der Steiermark, aber nicht nur in der Steiermark, die Bevölkerungsentwicklung, die Bevölkerung oder die Bebauung immer näher an die Umspannwerke heran und sehen wir uns eigentlich einen Widerstand ausgesetzt, so quasi. Das ist zu laut und es ist hässlich und das soll am besten verschwinden, wiewohl ja der Energieversorgung dient und diese Infrastruktur in den allermeisten Fällen vorher dar war. Neue Umspannwerke werden ja relativ wenige im Vergleich zu der Anzahl, die man schon haben gebaut. Aber dort wo sie stehen, sind jetzt mittlerweile Siedlungen rundherum herangerückt. Also ich rede auch nicht nur von Graz, sondern auch von durchaus ländlichen Gegenden in der Obersteiermark. Und das ist für uns völlig neues Erfahrungsfeld sozusagen, wo man auch noch nicht genau wissen, wie man dem Begegnen kann weil ein Umspannwerke kann ich nicht unter die Erde verlegen. Bei Leitungen mag das noch in gewissen Fällen möglich sein, bei Umspannwerken geht es definitiv nicht.

00:06:01

*Interviewer:* Okay, super, dann den Punkt angesprochen auch der Ausbau der Erneuerbaren, was sicherlich Treiber davon auch der Klimawandel ist. Da ist jetzt meine Frage, ein wesentlicher Punkt der Versorgungssicherheit ist ja auch die Versorgungsunterbrechung gerade im Verteilnetz. Und wenn man zum Beispiel am Wochenende geschaut hat, die ganzen Ausfälle was wieder waren, aufgrund der Unwetter, seht Ihr da in den letzten 10-20 Jahren ein vermehrt Aufkommen von Unwettern von Störungen aufgrund von Unwetterlagern. Oder ist das eigentlich konstant geblieben?

00:06:44

*EXP08:* Es schwankt. So einen wirklichen Trend zur Zunahme können wir eigentlich zumindest für unser steirisches Gebiet nicht wirklich erkennen. So ist zwar ähnliche Wetterlage wie jetzt am Wochenende oder auf die nächsten Tage prophezeit ist, gab es schon einmal, so vor ungefähr 10-12 Jahren, wo wirklich in relativ kurzer Abfolge große massive Stürme über Europa und Österreich gezogen worden ist und die Stürme Emma, Paula und Kyrill, wo man schon daraus gemeint hat, einen Trend ableiten zu können. Aber das ist jetzt über dieser Größenordnung zehn oder zwölf Jahre her und seitdem haben wir es eigentlich nicht mehr zu verzeichnen gehabt. Was wir aber schon bemerkten ihn in unserem Gebiet ist eine lokale Zunahme, die aber sehr wohl zufällig verteilt ist. Also es gibt ja, wo einzelne Sturm oder Schnee oder Gewitter Ereignisse gibt, die mehrfach hintereinander in lokal begrenzten Räumen auftreten und dann halt leider, wie du sagst zu Versorgungsunterbrechungen führen. Aber einen wirklichen Trend daraus



abzuleiten, dass das mehr wird, würde ich eher nicht erkennen. Ähm, vielleicht noch als Ergänzung dazu. Es gibt ja so Qualitätszahlen für das Netz. Man nennt das eben den sogenannten ASIDI oder SAIDI-Wert, dass die mittlere Versorgungsunterbrechung je Kunde und Jahr. Die auch von der Behörde jedes Jahr abgefragt wird bei allen Netzbetreibern und auch dann veröffentlicht wird. Und dieser Trend ist eigentlich eher abnehmend. Diese Zahl sinkt. Das heißt statistisch gesehen aber ist für den Einzelnen vielleicht subjektiv nicht so ist. Sinkt die Dauer der Versorgungsunterbrechung eigentlich nicht nur in Österreich, sondern auch bei uns im Gebiet seit Jahren. Das würde ich aber eher nicht auf die Wetterkapriolen oder Abnahme davon zurückführen, sondern eher darauf, dass man gerade im Verteilnetz sehr stark in Maßnahmen wie die Verlegung der Leitungen unter die Erde, sprich Verkabelung setzt oder Möglichkeiten schafft, um die Versorgungsunterbrechung zu verkürzen. Das ist eher gegenläufig. Mag sein dass das eine punktuelle zunimmt und dem versucht man eben technologisch zu begegnen.

00:09:06

*Interviewer:* Dann noch nachhackend, also vorweg ein Punkt in Richtung Technologien, aber wie ist das von Seiten der Energienetzen, in Hinblick auf vermaschte Verteilnetze. Das ist ja auch eine Möglichkeit, um solche Ausfälle möglichst rasch auszuschalten, zu verhindern? Leistungsschalter durch geeignete Schutztechnik. Ist das eine Technologie, was da vermehrt jetzt angestrebt wird oder noch eher so ein Randthema?

00:09:40

*EXP08:* Überhaupt nicht, gerade ausgehend von den Ballungsräumen natürlich machen wir das im Verteilen Netz also wirklich in der Mittelspannung, seit vielen Jahren, dass man danach trachtet, nicht nur ein vermaschtes Netz zu bauen, sondern auch die Maschen zu verkleinern und mehr davon zu bauen. Aber natürlich in gewissen ländlichen Regionen, ich denke da vor allem an das obere Murtal, aber auch die Obersteiermark generell, wo man sehr lange Netzausläufer in Täler in den Niederen Tauern oder so hat oder im Ennstal ist es natürlich praktisch nicht möglich, da führt halt quasi in den Graben, der durchaus 20 Kilometer lang sein kann, eine Leitung hinein. Dort wird es sehr schwierig Marschen zu errichten oder zu bauen. Da geht es dann eher Richtung Technologie Einsatz, dass man versucht die betroffenen Leitungsstücke zu identifizieren und herauszuschalten eben, wie du gesagt hast, Schutztechnik, einzelne Schalter oder ferngesteuerte Stationen und solche Dinge einzusetzen.

00:10:43

*Interviewer:* Okay, dann hätte ich eine Frage, und zwar zum Thema Regularien. Die werden jetzt zumindest jetzt meines Erachtens mehr in den letzten Jahren. Wie ist der Zugang vom Netzbetreiber vom Netzbetreiber Sicht her? Wird es immer Netzbetreiber freundlicher, gerade in Hinblick auf die Zugangsregelungen von Neukunden, von Erzeugungsanlagen, oder wird es eher sozusagen Netzbetreiber feindlicher? Wenn man es so ausdrücken kann.

00:11:21

*EXP08:* wird sie vielleicht gar nicht so weit gehen, aber wenn du jetzt Regularien im Sinne auch von vielleicht bleiben wir dann eher bei EAG, also Erneuerbaren Ausbau Gesetz. Wir waren als Branche von Anfang an eingebunden sowie natürlich auch die Erzeugung Seite, wenn ich das so sagen darf. Aber viele unserer Stellungnahmen wurden im Gesetz Werdungsprozess dann nicht berücksichtigt im Endeffekt und man sieht, dass sie jetzt aufgrund der vielen Diskussionen, die gerade mit dem Anschluss von

Erzeugungsanlagen geführt werden, dass es dort sehr viele Unschärfen und Unklarheiten im Gesetz gibt, wissentlich oder nicht, das sei mal dahingestellt, die noch einen sehr, sehr großen Aufwand administrativ verursachen werden bzw. die glaube ich auch zu viele Streitschlichtungsverfahren oder so bei der übergeordneten Behörde E-Control führen unsere Vermutung nach. Weil das Gesetz in vielen Dingen sehr, sehr unscharf formuliert ist. Und das führt einfach zu unglaublich vielen leeren Kilometern und auch zu Frustration auf der Kundenseite, weil natürlich ist sich das auch anders vorgestellt haben. Das Gesetz sollte ja den Ausbau der Erneuerbaren vorantreiben, die Mission 2030 als übergeordnetes Ziel fördern und beschleunigt zu erfüllen ermöglichen. Und da sehen wir momentan überhaupt nicht, weil sehr sehr viele Unklarheiten bestehen. Dazu kommen Unklarheiten auf Landesebene. In den einzelnen Bundesländern was also die Widmung Photovoltaik Freiflächen Anlagen als Stichwort betrifft. In der Steiermark sind wir zum Beispiel in der glücklichen Lage, einen Windkataster bzw. ein Sachprogramm zu haben. So etwas wünschen wir uns seit Erscheinen des EAG auch für die Photovoltaikanlagen. Das würde Sicherheit den Projektwerbern geben, Sicherheit auch dem Netzbetreiber an. Hier ist mit neuen Kapazitäten wahrscheinlich zu rechnen und neuen Anfragen. Und jetzt sind wir in so einer merkwürdigen Zwischenphase. Es gibt zwar ein Gesetz, aber scheinbar und das ist auch unser Echo aus der Branche der Erzeuger ist niemand so ganz glücklich damit. Die Erzeuger hätten sich wahrscheinlich Erzeuger freundlicher vorgestellt und die Netzbetreiber hätten gerne mehr Klarheit gehabt, wie mit diesen Anschluss an Fragen umzugehen ist im Einzelfall. Beides ist leider das Gesetz schuldig geblieben.

00:13:51

*Interviewer:* Okay. Und wenn man sich die TOR anschaut, da gibt es ja gerade wenn man jetzt eher auf große Erzeugungsanlagen schaut, da gibt es jetzt doch neue Vorgaben für Erzeugungsanlagen, also Themenstellungen wie vorherige Fault Ride Through oder Last Abwurf oder Blindleistung Regelungen. Ist das jetzt schon eher was, was von eurer Seite aus positiv gesehen wird und auch Praktikables ist?

00:14:20

*EXP08:* Grundsätzlich von den technologischen Anforderungen begrüßen wird es schon Fault-Ride-Through grundsätzlicher, auch indem man der Versorgungssicherheit und Blindleistungshaushalt wird immer mehr, in dem wir eben aufgrund der ausgedehnten Kabelnetze oder auch der Vorkommen des Übertragungsnetzbetreiber APG und den Übergabestellen. Die Frage ist, wie administrativ das dann ausartet in Zukunft, also vor allem wenn du den RFEG oder die TOR daraus, die durch die Vorgaben für einen Typ A oder B Anlage sind also noch überschaubar, aber für Typ C oder D Anlagen. Da sehen wir schon einen unglaublichen administrativen Aufwand auf uns zukommen. Und auch die Erzeuger, denn es gibt halt auch historische Anschlüsse auf diesen Netzebenen. Da werden plötzlich dann Anlagen zum Typ E die Anlagen, die dann vielleicht eine Konformität nach TOR oder RFEG beibringen müssen oder noch überhaupt nicht wissen, wie so was geht. Das wird dann wahrscheinlich in Beauftragung privater Institute enden, weil wer soll das machen bei den jeweiligen Erzeugern. Und wer soll das dann im Haus der Netzbetreiber jeweils prüfen überhaupt? Also da ist sicher noch einige Hausaufgaben zu erledigen. Dass man dies administrativ auch in Grenzen hält.

00:15:58

*Interviewer:* Ok, und dann vielleicht noch eine Frage zu den Entwicklungen. Und zwar wir haben jetzt eine

Entwicklung, dass die Strompreise steigen. Wie sieht das aus mit dem Netz Gebühren? Werden die in Zukunft aufgrund dieser Umbrüche steigen?

00:16:14

*EXP08:* Oder aber das wird die nächste Botschaft sein, die die Politik wahrscheinlich den Bürgerinnen und Bürgern geben wird müssen. Sie werden steigen, denn aufgrund des regulatorischen Regimes ist es ja so, dass die sogenannte Assetbase der Netzbetreiber letztendlich nach Prüfung durch die ECA durch die Regulierungsbehörde zu einem entweder Ausstieg oder Fallen der Gebühren, der Netzgebühren führt, in weiterer Folge. Und wenn der Netzausbau, so wie wir doch sehr stark vermuten, zunimmt aufgrund der Integration der Erneuerbaren oder auch aufgrund der Lastzunahme in einzelnen Gebieten, dann gibt es eins zu eins in die Assetbase ein. Und damit müssen letztendlich, so die Behörde das anerkennt, auch die Gebühren steigen. Also die Netztarife letztendlich.

00:17:11

*Interviewer:* So wenn wir zum zweiten Punkt kommen, und zwar zu den Technologien, speziell zu den Technologien, welche zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit dienen. Was sind denn deiner Meinung nach den wesentlichen Technologien, was in Zukunft aufkommen werden oder auch aktuelle Verwendungen sind?

00:17:35

*EXP08:* Mit Technologie Einsatz ist von über die Erde unter die Erde, um einerseits der atmosphärischen Einflüsse entzieht sich natürlich gewisse Grenzen gesetzt, sowohl monetär als auch technologisch. Da geht es um Umschaltmöglichkeiten, Vermaschungsgrade wie vorher schon angesprochen, also wirkliche physische Einbauten, die eben den Betreiber in die Lage versetzen, die Versorgungsunterbrechung letztendlich zu verkürzen, dass würde ich so ganz allgemein sagen. Kabel statt Freileitung geht die 110 KV aufwärts jetzt mal ausgenommen, aber Mittelspannung und Niederspannung, da auf jeden Fall weitere Umspannwerks-Neubauten um Gebiete etwas besser abzustützen, um die Kurzschluss Leistung da in dem Gebiet zu erhöhen. Vermaschungsgrad habe ich schon gesagt und Erhöhung der Schaltmöglichkeiten. Also muss man früher nur in Umspannwerk, in hatte oder vielleicht in so genannten einzelnen Knoten in die Fläche hinauszuholen und die Schaltmöglichkeiten oder die Automatisierung auch von ferne voranzutreiben, um eben die wirklich ausgefallenen Netzgebiete möglichst zu verkleinern und auch Anfahrtszeiten beispielsweise für Störungsbehebung zu verringern, indem man eben von Ferne auch auf der Stationsebene auf der Mittelspannung schalten kann. Das tun wir auch bereits jetzt. Das ist nicht alles, aber es hat doch signifikante Verbesserungen zur Folge.

00:19:15

*Interviewer:* Super! Du hast es angesprochen. Mehr unter die Erde gehen, verkabeln ist sicherlich eine gute Möglichkeit. Wie schaut es denn aus von der Sternpunkt Behandlung? Es gibt jetzt immer die Probleme, dass man in Kabelnetze Aufgrund und Entschluss dann Spannungsbögen hat. In den anderen Phasen gibt es da vielleicht Bestrebungen, dass man in Zukunft auf eine niederohmige Sternpunktterdung umsteigt.

00:19:45

*EXP08:* In Diskussionen würde ich sagen. Das ist ja sehr, sehr gut vorbereitet. Das ist eine ganz intensive Diskussion, die man von anderen Netzbetreibern eher kennen, aber die bei uns auch langsam virulent wird. Also eine Abhilfe, die wir momentan schon anstreben ist die Löschbezirke kleiner zu machen. Sprich die

einzelne Wechsellspannung müssen nicht mehr zentral vom jeweiligen UW aus zu löschen, sondern auch dezentral aufzustellen, um hier zumindest die Erdschlussströme oder die Ströme, die kompensiert werden müssen, kleiner zu machen. Geht natürlich auch eine gewisse Zeit lang. Die wirkliche niederohmige Sternpunktterdung, ja, würden wir in reinem Kabelnetz kann man über solche Dinge nachdenken. Gibt ja einen Netzbetreiber, der das schon macht in Österreich zumindest meines Wissens aber im gemischten Freileitung Kabelnetz und so ehrlich muss man sein. Das ist bei unserer Technologie wahrscheinlich noch jahrzehntelang so, dass doch, wenn wir uns sehr bemühen, unseren Verkabelungsgrad zu erhöhen. Aber das wird nie in die Größenordnungen, außer vielleicht in gewissen Städten, wo es jetzt schon ist. Aber übers ganze Netz betrachtet, wird man nie zu einer hundertprozentigen Verkabelung kommen. Das nicht, zumindest auf absehbare Zeit. So sehen wir es Momentan für uns noch nicht ganz ausgereift, den Gedanken wirklich umzusetzen operativ.

00:21:19

*Interviewer:* Und da noch die Frage im Hinblick auf Diagnostik und Monitoring ist das auch ein Bestreben, dass man in Zukunft vermehrt Betriebsmitteln diagnostiziert und auch bei kritischen Betriebsmitteln auch ein Monitoring installiert, von Betriebsmitteln.

00:21:38

*EXP08:* Das war einmal, ist ja lustig, dass das kommt. Das kommt jetzt meiner Ansicht nach ich beobachte, dass, gerade wieder auf. Ein bisschen ist natürlich ein bisschen von der Industrie getrieben, aber wie vor über 20 Jahren in die Firma gekommen bin, war das gerade der neueste Schrei das Monitoring. Man hat dann versucht, gewisse Dinge zu monitoren, die man Monitoring im Sinne von regelmäßigen Überprüfungen machen wir auch jetzt schon einen kritischen Betriebsmitteln, Großtrafos deren Isolierung oder deren Durchführungen und so weiter gemessen und quasi so Art Trendkurven dann abgeleitet werden. Aber ich verstehe, die Frage ist vom Monitoring im Sinne von Online Monitoring?

00:22:20

*Interviewer:* Also eigentlich beides. Also wirklich ohne Monitoring, das wirklich durchgehend Monitoring natürlich bei normalen kleineren Betriebsmitteln wie in einem normalen Trafo oder Kabelstrecke das ich da einen Instandhaltungsplan mache, und sage okay, ich mach jetzt alle fünf Jahre eine Öl Analyse oder eine Kabelprüfung.

00:22:41

*EXP08:* Genau. und so muss man es auch ein bisschen unterscheiden. Und es hat sich dann im Laufe der Jahre eigentlich herausgestellt, dass der Aufwand meist nicht dafürsteht, bei den großen Einheiten sowie in Umspannwerk und 110 KV aufwärts Ja. Eine Öl-Analysiert bei einem Verteiltrafo, erstens bringt es meistens nichts, weil der die Last gar nicht sieht, damit nicht die Temperatur und den Strom und die sind meist alle in Hermetik ausgeführt, also man kaum ein Öl-Probe mehr ziehen. Das heißt, es scheitert oft daran, dass man nicht zum Informationsträger dieses Monitorings herankommt. Oder bei einer Kabel Strecke bei 110 KV haben wir es, dass wir Lichtwellenleiter mit verlegt haben, die uns Aussage über die Temperatur des Kabels geben. Und daraus kann man vielleicht gewisse Schwachstellen ableiten, bei Mittelspannungskabeln besteht unserer Ansicht nach der Aufwand schwer dafür. Was man machen könnte, man könnte die Kabel Prüfungen nicht nur beim Einschalten machen, sondern alle paar Jahre. Dazu müsste man das Kabel frei schalten, beidseitig. Das ist im vermaschten Netz teilweise möglich in

Stichnetzen praktisch net weil da muss ich ja wirklich die Versorgung unterbrechen, zumindest für den Zeitpunkt der Messung. Das sind wir eigentlich von den Gedanken dort wieder abgekommen, wiewohl es ein gewisser Trend momentan ist, dass man versucht, wieder stärker das Thema Monitoring anzuschauen und zu forcieren. Aber ich wüsste nicht, wo die neuere Erkenntnis jetzt liegt im Vergleich zu den letzten Jahrzehnten. Es wäre schön, wenn man viel mehr über den Zustand der einzelnen Betriebsmittel wüsste, aber das ist mit ungeheurem Aufwand verbunden und aufgrund der Menge und Länge und oft geht es eben nicht. Da würde ich eher sagen, dass man sagt, man versucht aus den Lasten, die man hoffentlich dann nach dem Smart Meter Roll out bekommt, auch aus der Fläche draußen. Dass man hier über die Lasten der Trafos zum besseren Bescheid weiß und daraus Rückschlüsse zieht und den vielleicht dann präventiv rausnimmt und tauscht gegen eine größere Einheit oder gegen eine neuere oder so. Weil letztendlich eigentlich der Zustand wird, ja sehr oft von der Belastung letztendlich bestimmt. Nicht nur, aber auch.

00:25:02

*Interviewer:* Und wenn ich da vielleicht einhaken darf, und zwar in Hinblick auf Monitoring und auch weiterführend SCADA-Systeme im Mittel- und Niederspannungsnetz. Ist das für euch ein Thema? Betreibt ihr schon solche Systeme.

00:25:20

*EXP08:* Im Mittelspannungsnetz sind wir eigentlich sehr weit, also das SCADA System grundsätzlich ist bis zur allerletzten Trafostation abgebildet. In unseren Onlinesystemen aber natürlich fehlt heute die digitale Information oft noch, ebenso wie die Last des Trafos ganz hinten irgendwo am Berg oben. Aber grundsätzlich die Mittelspannung ist komplett in unserem System abgebildet seit einigen Jahren. Die Hochspannung sowieso. Und die Schaltmöglichkeiten wie ich sie vorher beschrieben habe, bestehen so von der Mittelspannung UW seitig vollständig in den einzelnen Schaltknoten, wir sagen Schaltstellen dazu, auch praktisch vollständig und bei einigen größeren ich sag einmaldreistellige Zahl von Transformator Stationen auch im SCADA-System. In der Niederspannung gibt es Überlegungen, aber wir wollen zuerst in den ferngesteuerten Trafostation soweit sein. Da gibt es auch einen Nachrüstplan für Fernsteuerung von Trafostationen, dass man dort einmal betrieblich möglichst alle Schwachpunkte eingebunden haben.

00:26:31

*Interviewer:* Ok, und vielleicht abschließend noch die Frage, fallen dir jetzt noch ganz innovative oder ganz, ganz zukunftssträngige Technologien die man vielleicht in 10, 20, 30 Jahren einsetzen könnte.

00:26:48

*EXP08:* 30 ist vielleicht gar ein bisschen weit in der Zukunft, was wir sehr stark versuchen momentan das Experimentieren wir halt ein bisschen mit verschiedenen Big Data Anwendungen Trends herauszurechnen über die Lasten der Netze, auch über mögliche Einspeiseszenarien. Also wir versuchen sehr stark Szenarien errechnen, in der Hoch- und Mittelspannung, auch in der Niederspannung sehr stark. Wo könnte es demnächst eng werden von unseren Berechnungen her? Sprich wo ist der Netzausbau erforderlich? Oder andere Verstärkung der Maßnahmen und wo man auch sehr stark versuchen ist, unser GIS, unser Geographisches Informationssystem mit sehr aktuellen Bildern dahingehend sozusagen betrieblich zu nutzen, dass man z.B. auch eine Art Bild über die Vegetation neben unseren Leitungen bekommt und den Trend ableitet, dass man sieht, wie sich der Bewuchs ändert. Diese Befliegungen finden ja alle paar Jahre statt und da kann man schon durchaus den Zuwachs von Leitungen auch digital erfassen. Das ist etwas

sehr aktuelles, trendiges Projekt bei uns, das man versucht den Leitungsbewuchs unter Anführungszeichen, also den Zuwachs links und rechts der Leitungen mit Algorithmen herauszurechnen, so dass die nicht mehr alle begangen werden müssen, sondern dass man daraus bereits Ausäst-Aufträge ableitet und sagt da wird es schon langsam kritisch. Dann müssen wir wieder hin zu dem Abschnitt und so oder das muss man auch in der Hochspannung machen, dass man mit Drohnen die 110 KV Systeme befliegt, die mit Thermosensoren ausgestattet sind, mit hochauflösenden Kameras, um eben dort z.B. auch Fehler an den Leiter zu erkennen oder Schwachstellen bei Klemmen, wo eben thermische Überlastung auftreten oder solche Dinge. Also das ist jetzt sicher nicht so weit in die Zukunft, das sind Dinge, die man schon erproben und wo man doch gewisse Vorteile Versprechen davon hat.

00:29:00

*Interviewer:* Das klingt sicher praktikabel, wenn ich nicht jedes Leitungsstück zu Fuß abgehen muss.

00:29:05

*EXP08:* wozu man ja zumindest bei gewissen noch verpflichtet ist. Also auf der 110kV Ebene muss man per Bescheid jedes Jahr den gesamten Bestand sichten und begehen. Das ist vielleicht vielen in der Öffentlichkeit nicht so klar, dass wir sehr viele Auflagen und gesetzliche oder Bescheid mäßige Verpflichtungen haben. Ist ja auch in Ordnung, weil elektrische Anlagen ja auch eine gewisse Gefährdung darstellen können, wenn etwas nicht funktioniert, wo man diese Dinge eben auch einfach insbezieren muss. Also nicht nur in unserem Interesse, sondern auch, weil es die gesetzlichen Erfordernisse so sind.

00:29:41

*Interviewer:* Dann sage ich einmal vielen Dank für die Zeit.

**Interviewpartner:** EXP09

**Datum:** 31.01.2022

**Gesprächsdauer:** 29:41 Minuten

**Durchführung:** Schriftlich und via MS Teams

### **Schriftliche Antworten**

**Frage 1:** Welche Trends beherrschen die aktuellen Entwicklungen der Energiewirtschaft und Energieversorgung, bzw. könnten in Zukunft aufkommen?

Erneuerungen der Altanlagen und Einbau neuer Kommunikations und Steuerungselemente zur Erfüllung der Datensicherheit und der Anforderungen aus der übergeordneten Leittechnik für die Steuerung und Digitalisierung der Netzdaten. Integration der erneuerbaren Energiequellen auf verschiedenen Netzebenen.

**Frage 2:** Was sind die Ursachen und wesentlichen Treiber dieser Trends?

Weiterhin steigender Energieverbrauch aus elektrischen Netzen. Digitalisierung und Automatisierung der Netzbetriebe. Globale Entwicklungen und Anforderungen aus CO2 Reduktion und Integration erneuerbarer Energien. Digitalisierung und Datenspeicherung in allen Bereichen. Neue Währungssysteme und Verkehrskonzepte.

**Frage 3:** Welche Chancen und Risiken sehen Sie in diesen Trends?

- + neue innovative Konzepte im Bereich Energieerzeugung, Speicherung und Verteilung.
- + Erneuerung der alten Anlagen
- + Umdenken bei Mobilität und Umweltbewusstsein
- + Schwächung der Erdöl und Erdgas Lobby
- politische Abhängigkeit durch Förderprogramme
- hohe Investitionen
- Erhöhung der Strompreise durch Investitionen für Netzstabilität und Sicherheit
- Hohe Anzahl an Erzeugungsanlagen mit rel. niedriger Leistung verändert die Landschaft und sichtbarer Umwelt.
- Neue Überlegungen in Richtung Atomkraftwerke

**Frage 4:** Welche Technologien zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit sind Ihnen bekannt?

Elektrische Energie aus den bestehenden Wasserkraft, thermischen und atomaren Kraftwerken  
Neue erneuerbare Energieerzeugungsanlagen: Windkraft, Fotovoltaik, Wasserkraftwerke,

solarthermische KW (Salz oder Öl), Gezeitenkraftwerke, Osmosekraftwerke wie z.B. in Norwegen,

Speicherung der elektrischen Energie: Batteriespeicher, Pumpspeicher, Power to Head, Power to Gas,

**Frage 5:** Welche Technologien könnten Ihrer Meinung nach in Zukunft eingesetzt werden und einen Beitrag zur Versorgungssicherheit leisten?

Osmosekraftwerke im europäischen Verbund

Windkraftanlagen mit Power to Gas

Fotovoltaikparks z.B. auch in schwimmender Form Membranspeicher im Binnengewässer oder Meer,

Pot. Energiespeicher z.B. Betonspeicher

Speicher mit Supraleiter

Weiterentwickelte Akkuspeicher

Salzwasserbatterien (Akku)

Gewinnung von Wasserstoff aus Wasser

Für die Datensicherheit: Einbindung von Blockchaintechnologie und Distributed Ledger Technology zur manipulationssicheren Digitalisierung und Steuerung der Netze.

Verbraucherverhalten:

Smartmeter und Smartgrid Integration sowie die Entwicklung neuer Stromabrechnungsmodelle zur effizienten Nutzung der verfügbaren Ressourcen mit komfortablen Anwendungsmöglichkeiten für den Endverbraucher.

Weiterentwicklung von Modellen auf Basis von Internet of Things (IOT) zur statistischen Bedarfsberechnung und Verbrauchsoptimierung.

Verpflichtende Speichereinrichtungen für Großabnehmer im MWh Bereich zur Glättung des Verbrauchprofils und zur Netzstützung im Bedarfsfall durch Einbindung in die tertiäre Regelung des Übertragungsnetzbetreibers.

### **Interview**

00:00:03

*Interviewer:* Im Prinzip geht es einerseits um Trends und Entwicklungen und andererseits um Technologien. Und wenn man vielleicht mal anfangen mit den Trends und zwar durchaus interessante Antworten gegeben, unter anderem auch zur Digitalisierung, sprich Erfüllung von Datensicherheit Übergeordnete Leittechnik, Digitalisierung der Netzdaten. Wie wird das deiner Meinung nach sich in den nächsten fünf bis zehn Jahren entwickeln?



00:00:34

*EXP09:* Ja der Trend ist ja eigentlich schon gestartet, dass man die Daten in Netzebenen aufnehmen die bis jetzt noch nicht erfasst worden sind. Smart Metering ist seit den letzten zehn Jahren eine Vision in der Umsetzung. Und mit dem Vorhandensein der Daten werden entsprechende Auswertungen und Programme, die die Daten auswerten können und um damit neue Geschäftsprozesse und Zweige aufmachen. Und was sie dazu in Einklang passieren wird, ist dass das Ökosystem dazu den Energiemarkt verändern wird und auch neu erstellen wird. Das heißt, wir werden wahrscheinlich wirklich in Zukunft digitalisiert den Strom beziehen. Der ist nicht nur auf der Rechnung irgendwo Unterstützungskapital ist für gewisse Branchen in der Elektrotechnik, sondern wirklich zielgenau mit dem Verbrauch die Kraftwerke die Energie erzeugen damit direkt verrechnet. Und es wird damit auch eine sehr unterschiedliche Struktur ergeben weil es sind natürlich einige Kraftwerke aus strategischen Gründen in Betrieb, die anderen aus ökonomischen Gründen im Betrieb sind. Und das wird wieder eine neue übergeordnete bessere Regelung und Einteilung benötigen, die digitalisiert sein muss.

00:02:41

*Interviewer:* Okay, danke. Dann redest du auch von den steigenden Strompreisen. Ähm, ist das deiner Meinung nach einer Entwicklung, die sich fortführen wird? Und einerseits steigende Strompreise auf Grund von wirklich steigendem Preis für die Kilowattstunde. Aber glaubst du auch, dass die Netzgebühren in Zukunft auch steigen werden?

00:03:18

*EXP09:* Es ist das eine bedingt das andere, sagt wir haben höhere Energieverbräuche und die Verschiebung des Energieverbrauchs in Richtung elektrische Energie anstrebt, dann wären entsprechende Netzausbauten in diese Richtung notwendig sein. Es sind verschieden Erzeugungsquellen, die in verschiedenen Richtungen auf das Netz speisen schon vorhanden und werden weiterhin ausgebaut. Das bedeutet auch, dass die Netze entsprechend nicht nur in einer Richtung Energie transportieren müssen, sondern in verschiedenen Richtungen. Unter anderem auch Niederspannungsnetze und nicht nur wie man es jetzt nur auf der Mittelspannung gewohnt war. Und dadurch gibt es natürlich eine andere Art des Netzes und des Netzaufbaus. Was sich aus den Netzgebühren zu berechnen sind. In Summe wird es keine Verbilligung, sondern eher Modernisierung der Netze in erster Linie und dann unter Umständen in weiterer Folge vielleicht sieben bis zehn Jahre, dann vielleicht umgekehrt Effekt.

00:04:39

*Interviewer:* Und wie glaubst du verhält sich das wirklich mit dem reinen Strompreis, also mit der Kilowattstunde für den jetzt steigenden Strompreis, was ja Großteil Rohstoff und politisch bedingt ist. Glaubst du etwa, dass durch die Entwicklung von Erneuerbaren eventuell der Strompreis sinken kann?

00:04:59

*EXP09:* Der Strompreis für sich die Arbeit, die man bezahlt, der im Wesentlichen ein strategischer Preis bleiben wird. Der wird zur Aufdeckung der Kosten für die Erzeugung, aber die Erzeugung allein für den Endverbraucher ist nicht alles was das ganze Netz benötigt sozusagen es sind ja auch strategische Kraftwerke in Betrieb, die einfach für die Stabilität da sein müssen, die laufen müssen damit das europäische Netz entsprechend der Stabilität zur Verfügung gestellt werden kann. Und das ergibt einen

gesamten Anteil an Kosten, die dadurch entstehen aber der Verbraucherpreis wird sich an die Marktsituation anpassen, die Zukunft noch mehr börsennotierte Modelle annehmen.

00:06:03

*Interviewer:* Dann ein bisschen vorweggegriffen. Du schreibst hinten über Technologien, dass eine Möglichkeit ist das man Großverbraucher auch gewisses, ein gewisses Netzdienliches Verhalten vorschreibt, sprich dass sie durch Speichereinrichtungen ihr Verbrauchsprofil glätten. Glaubst du jetzt aktuell, wenn man sich jetzt die Regularien und den regulatorischen Rahmen anschaut, wird es deiner Meinung nach mehr. Und wie glaubst du entwickelt sich das. Wird das eher Netz freundlicher, Versorgungssicherheit freundlicher oder es geht in die Richtung mehr wirtschaftliche Anreize zu schaffen, dass es in Zukunft heißt "Okay, der Großverbraucher kann das machen, aber natürlich nicht kostenlos."

00:07:01

*EXP09:* Ich würde mir wünschen, dass das, dass es vorgeschrieben wird und nicht rein aus kommerziellen Beurteilungen heraus. Um einfach nicht nur die übergroßen europäischen Erzeuger da eigentlich das ganze Netz stützen zu lassen. Sondern dass sich das mehr aufteilt. Dass es vielleicht auf mittlere Ebenen vordringt, dass die Netzstabilität durch Speichermedien besser gestützt wird. Auf der anderen Seite wird auch die technische Notwendigkeit so sein, weil einfach viel mehr kleinere Einspeiser das Netz genau auf der Ebene betreffen und dort ist es am besten zu stabilisieren. Und ohne dass man das jetzt über lange Netzverbindungen irgendwo anders speichert, in irgendwelchen Pumpkraftwerken in Europa sondern dass man auch vor Ort wo Spitzen Erzeugungen und Spitzen Lasten entstehen entsprechende Speicher Maßnahmen verwirklicht. Auf der Erzeuger- und auf der Verbraucher-Seite das hat Stabilitätseffekte großartige und auch kostenmäßige bei genereller Befürwortung dieses Konzepts. Das Reduzierte auch die Speicherelemente, sie werden öfters eingesetzt, und die Kilowatt- oder Megawattstunde die zu speichern ist wird billiger werden und entsprechend wird dann der Break-Even kommen wo mit Speicherung das Netz billiger zu betreiben ist als ohne.

00:08:50

*Interviewer:* Und wie glaubst du schaut das aus nicht nur in Bezug auf die Speicherung, sondern auch in Bezug auf die Erbringung von Systemdienstleistungen, sprich Last Abwurf oder wirklich Blindleistung Regelungen an Erzeuger aber auch auf Verbraucherseite. Wie glaubt du wird sich da der regulatorische Rahmen entwickeln. Oder wie hatte sich zumindest in der Vergangenheit entwickelt und in was für eine Richtung ist es deiner Meinung nach gegangen?

00:09:20

*EXP09:* Ich denke dass wir in letzter Zeit eine Phase haben in der die Regulierung schon eine zweitrangige Rolle eingenommen hat. Das alles, was in die Richtung geht, aggressiv Energiequellen Energieerzeuger aus dem grünen Bereich praktisch ans Netz zu bringen. Dass man jetzt sukzessive schauen muss, dass man durch entsprechende Maßnahmen reguliert, kompensiert teilweise. Und halt schaut dass man mit den vorhandenen Netzressourcen so günstig wie möglich auskommt. Es ist auch eine Förderthematik nachdem großflächig in ganz Europa Photovoltaik und Windkraftanlagen gefördert sind, nach wie vor. Ist also die Entscheidung dar Kraftwerke zu bauen sehr einfach. Wenn man nach Holland schaut, dass man das Meer mit Windkraftanlagen übersät hat. Das ist eine gigantische Menge an Energie, die gewonnen wird die auch nicht immer vorhanden ist, sondern auch nur punktuelle auftritt. Da haben andere Länder, Österreich

hat da wahrscheinlich nicht die Hauptproblematik, weil sich das bei uns auf relativ kleine Leistungen in den Bereichen aufteilt, der verschiedene Örtlichkeiten und bei so großen Anlagen auch in der Größenordnung wie man es halt im Burgenland sieht, aber darüber hinaus Offshore Einrichtungen, das die ganze andere Schwierigkeiten haben mit dem Einspeisen der Energie die momentan vorhanden ist und die dann weg ist wenn sich die Wetterlage verändert. Und das kann man durch Optimierung der Netze durch Blindleistungskompensation oder Anpassung an die optimalen Wirkungsgrade der Übertragungsnetze kann man da schon einen gewissen Teil wieder einregeln, aber der Zuwachs wird größer sein als wir jetzt zur Verfügung haben.

00:11:35

*Interviewer:* Und diese Regelungen, wie glaubst du wird die passieren also über Erzeugungsanlagen, Verbraucheranlagen über separate Systeme wie Kompensationsanlagen?

00:11:46

*EXP09:* Also ich denke es kann vernünftig nur über Tertiärregelung passieren. Zuerst soll man wirklich über einen längeren Zeitraum, dass die gesamte Energie erzeugen und dann betrachtet nicht jetzt im Sekundenbereich sondern einen etwas längeren Zeitraum, dann einfach sagt übergeordnet dieser Bereich ist jetzt von der Energieerzeugung ausgeschlossen. Und dafür ist eine Menge in dem und dem Bereich einzuspeisen. Und es wird wahrscheinlich noch im Detail ausgebaut werden müssen mit entsprechenden Rechenkonzepten, die auf diese Regelung dann einwirken.

00:12:27

*Interviewer:* Okay, dann noch ein Punkt, und zwar in Hinblick auf die Energieeffizienz ist das glaubst du eine Entwicklung, die in den letzten Jahren zugenommen hat. Also Energieeffizienz Maßnahmen. Und wie wird sich das weiterentwickeln?

00:12:52

*EXP09:* Energieeffizienzmaßnahmen sind sicherlich parallel betrieben worden, noch viel mehr sind Maßnahmen, um mehr elektrische Energie zu verbrauchen. In Summe verbrauchen wir ja wesentlich mehr wie vor 10 Jahren. Und wenn man das mit in die Energieeffizienz mit einberechnet, dass wir Energien, elektrische Energien dort verbraucht wo man es eigentlich nicht bräuchten, da es einfach eine Luxussache ist, dann wird man da nie auf eine gerade 0 kommen. Es wird schlimmer werden, obwohl vielleicht vor 10-15 Jahren der tatsächliche Wirkungsgrad, der tatsächliche Verbrauch der einzelnen Verbraucheranlagen wesentlich schlechter war.

00:13:40

*Interviewer:* Das heißt der Wirkungsgrad ist zwar besser geworden deiner Meinung nach, aber der Verbrauch steigt.

00:13:44

*EXP09:* Genau, der Verbrauch aufgrund der Vielzahl an Geräte, aufgrund der Vielzahl an Datenverarbeitungsgeräten, die wir immer im Betrieb haben, dass wird jetzt zwar sehr effizient mit den Geräten. Aber in der Anzahl natürlich an Energieverbrauch schlechter. Dass das Wärmeentwicklung bedeutet und das nur Verlustleistung ist.

00:14:11

*Interviewer:* Ok, und dann schreibst du auch noch vom neuen Verbraucherverhalten und die Konsumenten werden sich anders verhalten. Wie glaubst du, wird das auch schon in Zukunft, also in Hinblick auf den klassischen Energieverbraucher?

00:14:29

*EXP09:* Das Verbraucherverhalten wird sich natürlich über die Angebote der Energiewirtschaft verändern. Durch die Möglichkeiten, verschiedene Zeiten und verschiedene Verbrauchsprofile aufzunehmen und zu verarbeiten, werden wir Verbraucher auch neue Angebote gemacht werden, wo entsprechende ausgleichende Stromverbräuche sinnvoll angewendet werden, oder in der Industrie unter Umständen andere Produktionsprozesse zu anderen Zeiten in die Produktion und Produktionsablauf miteinfließen.

00:15:15

*Interviewer:* Dass man zum Beispiel jetzt Nachtstrom wieder vermehrt nutzt und unterschiedliche Tarife hat?

00:15:25

*EXP09:* Es wird da nicht nur um bestimmte Tageszeiten gehen, sondern für bestimmte Gegenden oder örtliche Gegebenheiten wird man wahrscheinlich sagen können aufgrund der Wetterlage Aufgrund des Angebots am Strommarkt werden immer mehr Verbraucher die Möglichkeit haben, direkt von dem Spotmarkt zu profitieren. Also der Endverbraucher eher weniger, weil einfach die Leistung zu gering sind. Aber ab einem mittleren Betrieb wird es dann schon möglich sein Viertelstundenpreise Energie zuzukaufen und dann dementsprechend Möglichkeiten schafft, diese künstliche Energie in Speichermedien zwischen zu puffern und dass dann für die nächsten beiden Stunden Hochpreiszeit prognostiziert ist und dann aus dem Speicher die Versorgung zu erhalten.

00:16:31

*Interviewer:* Wenn man dann zum Punkt Technologien kommen, da hast du ja einen Haufen Technologien aufgezählt. So wie ich das jetzt herausgelesen habe, ist es deiner Meinung nach sehr stark die Speichertechnologie. Wenn man sich anschaut, den Raum Steiermark und Österreich was glaubst du werden dort die vorwiegenden Speichermedien sein?

00:17:02

*EXP09:* Ganz interessant und unabhängig von den Gebieten finde ich einfach die Speichermöglichkeiten, die da mit großen Betonblocks realisiert werden und da wo es schon Versuchsobjekte gibt, die wirklich große Speicher Menge zusammen bringen und sogar mit der potenziellen Energie kann wieder Strom erzeugt werden. Und bei einem Überschuss große Beton oder Felsblöcke in der Form einfach direkt auf ein höheres energetisches Niveau heben. Tatsächlich nach oben transportiert und dann in die Tiefe nach unten bewegt und dadurch Generator betreibt, die wieder ins Netz speisen, das ist eine unkomplizierte und recht billige Technologie. Und ansonsten wird sich die Steiermark aufgrund der gebirgigen Landschaft da und dort für ein paar kleine Speicherkraftwerke noch eröffnen. Das restliche wird sicher im Bereich der statischen Speicher sein, Batteriespeicher und so weiter die wieder mehr zunehmen werden. Und auch die Batterie-Entwicklung wird ein eigener Bereich aufmachen der nicht nur auf mobile Technologien verwendet wird, sondern wo auch wirklich für die Netz eigene Batteriekonzepte entwickelt, die umweltfreundlich, aber nicht so klein bauen wie es in einem Auto sein muss, wo man ohne weiters einen Speicherhaushalt hinstellt,

um dort große Mengen an Speicherkapazität zur Verfügung hat. Speicher im großen Ausmaß haben natürlich ein großes Risikopotenzial, ob das ein Staudamm ist oder ob das große Batteriespeicher sind, die Energiedichte an dem Ort ist natürlich immer sehr hoch. Es muss entsprechend geschützt werden und da schließlich sich natürlich der Kreis das man auch sagen muss, die physikalische Möglichkeit muss man schaffen, sondern man muss auch das Umfeld in der Sicherheit, der physikalischen Sicherheit, der Elektrotechnischen Sicherheit und auch in der Datensicherheit gewährleisten, dass ist ein unheimliches Potenzial in der Zukunft.

00:19:29

*Interviewer:* Und du schreibst auch mit Speicher, dass wird deiner Meinung nach eher im kleinen Stiel sein. Also die Batteriespeicher und...

00:19:38

*EXP09:* Ja, verhältnismäßig klein im Vergleich zu einem Pumpspeicherkraftwerk in Malta z.B.

00:19:43

*Interviewer:* Und du da auch, dass es Technologien wie Salzbatterien...in diese Richtung geht?

00:19:52

*EXP09:* Ja genau, dass man da halt neue Technologien verwendet, die nicht einfach so auf leichte und klein bauende Batterien entwickelt, sondern auf möglichst umweltfreundlich und kostengünstig. etwas weniger glücklich zu machen und dass möglichst umweltfreundlich und möglichst. Kostengünstige Speichermedien zu erzeugen egal ob das jetzt größer und schwerer ist, weil stationär ist das natürlich kein Problem.

00:20:16

*Interviewer:* Okay, und du schreibst auch von Speicher mit Supraleiter. Jetzt ganz allgemein zu der Thematik Supraleiter, glaubst du, wird es in den nächsten 10 Jahren wirklich eine Rolle spielen? Also Supraleiter in Kabel zum Beispiel.

00:20:35

*EXP09:* Supraleitende Kabel sehe ich jetzt nicht als das große Potenzial. Weil einfach der Betrieb aus dem jetzigen Entwicklungsstand ist der Betrieb immer noch teurer als der der Verlustleistung auf einer Leitung. Was ich mir vorstellen kann ist, dass man einzelne Speichermedien mit supraleitenden Materialien ausgestattet, um ein Magnetfeld zu nutzen, um Energie zu speichern. Und das wird sich dann wahrscheinlich mit einem sehr hohen Wirkungsgrad herausstellen, wenn die Temperaturen noch weiter in die Höhe gehen. Jetzt sind wir irgendwo bei 50°C oder so. Die Materialien werden dann auch immer interessanter. Und im kleinen Bereich ist es natürlich ein Thema, wo man Supraleiter einsetzen wird, ähnlich wie man es am Anfang mit Lichtwellenleiter gemacht hat. Kurze Strecken zwischen CPU und CPU und dann irgendwann ist man dann in eine Fernstrecke mit Lichtwellenleiter umgestiegen und hat eine Technologie geschaffen, mit der man über weite Strecken Licht verlustfrei durchbringt,...einigermaßen. Und wenn der Markt einmal eröffnet, wird es dort auch in der Übertragungstechnik einen Schub nach vorne machen.

00:21:59

*Interviewer:* Dann schreibst du auch dass die Blockchain-Technologie und Distribution Ledger Technologie

in Zukunft vermehrt eingesetzt werden muss. Wie wird sich das deiner Meinung nach entwickeln und wo wird diese Technologie vermehrt eingesetzt werden?

00:22:20

*EXP09:* Ich denke, im Stromsektor für ihre direkte Abrechnung von Maschinen zur Erzeugungsanlage sehr gut eignen würde und dass die Abrechnung nicht mehr über einen großartigen Buchhaltungs- und Büroaufwand, den die ganze Energiewirtschaft hat, tatsächlich mit Blockchain-Technologie auch monetäre Werte mit verschoben werden. Und gleichzeitig sollte eine entsprechende Energie verwendet werden können. Es wird halt einfach wenn man Energie konsumiert im Gegenzug praktisch über Blockchain-Technologie oder Distribution Ledger einfach ein monetärer Wert transferiert.

00:23:09

*Interviewer:* Okay, dann noch ein Gebiet wo du dich sehr gut auskennst, sind intelligente Ortsnetzstationen, auch mit Regeleinrichtungen, wird es deiner Meinung nach der Zukunft sein? Im Verteilnetz im Ortsnetz?

00:23:28

*EXP09:* Es ist die hetzt in der Ausbauphase und ich denke mal, dass man nicht davon abweicht und dass man in Zukunft in der Versorgungsart die gleiche Spannungsart und Stromart beibehalte. So gesehen glaube ich, dass das ein wichtiger Punkt ist um dort die Daten zu ermitteln. Kontraproduktiv wäre es, wenn man in den nächsten 10-15 Jahren irgendwann einmal die Entscheidung treffen würde man macht alles mit Gleichstrom und keine Transformatoren mehr, sondern mit irgendwelchen Übertragungs- und Gleichspannungsquellen, dann würde sich das halt nicht so lange am Markt halten können. Wenn das eine neue Technologie ist, würde das eine Umstellung des gesamten Stadtnetzes bedeuten und das glaube ich eigentlich nicht.

00:24:17

*Interviewer:* Und intelligente Ortsnetzstationen ist ja auch die Thematik mit Regeltrafos. Das ist jetzt nur ein Randthema für besondere Netzsituationen und Netzstrukturen. Wird das deiner Meinung nach in Zukunft vermehrt eingesetzt werden? Wir man es überhaupt benötigen in Zukunft vermehrt?

00:24:38

*EXP09:* Man wird für die einzelnen Einspeisepunkte die punktuell auf der Niederspannung passieren werden Möglichkeiten finden müssen, um das so in das übergeordnete Netz einzuregeln, dass man wenig Auswirkungen spürt. Und da bietet sich natürlich ein geregelter Ortsnetztrafo perfekt an. Wo halt einfach die Trafostation nicht nur unter Anführungszeichen ein passives Element ist, sondern wirklich auch mit Steuerungszintelligenz Regelungsaufkommen betreibt.

00:25:18

*Interviewer:* Um einfach die Mittelspannungsnetze zu entlasten.

00:25:22

*EXP09:* Genau ja.

00:25:30

*Interviewer:* Da jetzt anschließend zu den Mittelspannungsnetzen und auch Niederspannungsnetzen. Grundsätzlich ist die Struktur heutzutage, dass man vorwiegend Sternpunktformige Netze hat, glaubst du wird es einen Umstieg geben auf vermehrt vermaschte Netze.

00:26:03

*EXP09:* Es gibt zwar mehrere Ansatzpunkte, wo eben ein vermaschtes Netz von Verteil ist. Wenn man jetzt bissl in den urbanen Bereich schaut, ist auch in der Mittelspannung ein vermaschtes Netz von großem Vorteil. Weil man einfach in verschiedenen Richtungen einspeisen kann und die Netzstabilität vorhanden ist und alle möglichen Schaltungszustände einfach eine Versorgungssicherheit geben. Wenn man das jetzt betrachtet, dass es jetzt so wie in der Steiermark oder in Österreich verzweigte Täler zur Energieversorgung unterbringen muss wo jetzt nicht eine sehr große Leistung zum Übertragen ist im Vergleich zu den städtischen Bereichen, wird man dort nur mit einem sehr großen Aufwand Ringnetze betreiben. Und vor allem laufen die Ringnetze im gleichen Tal. Wenn dort jetzt eine Katastrophe passiert, dann ist der Stich gleich gut wie der Ring. Es gibt da und dort auch Verbindungsleitungen die sinnvoll sind und in Zukunft einfach ausbauen damit man untereinander zwischen den einzelnen vorhandenen Netzen entsprechende Leistungen austauschen kann. Aber der ständige Ringbetrieb in der Form ist aufgrund der Netzstrukturen aus meiner Sicht nicht so zu erwarten.

00:27:25

*Interviewer:* Ok. Und dann noch eine Frage zur Löschung. Wir haben ja in der Steiermark vorwiegend eine kompensierte Löschung, mit dem Nachteil natürlich, dass bitte. Mit dem Nachteil das ich eine Spannungserhöhung im Erdschlussfall habe und dadurch einen Doppelerdschluss entsteht und sich dieser fortsetzt. Glaubst du wird es da in Zukunft sogar einen Umstieg auf eine niederohmige Sternpunktterdung geben?

00:28:04

*EXP09:* Die niederohmige Sternpunktterdung hat halt sehr große Fehlerströme zur Folge. Und es bedeutet, dass jeder Erdschluss zu einer sofortigen Ausschaltung des Netzsegmentes zur Folge hat. Das ist beim kompensierten Netz mit dem Nachteil der möglichen Spannungserhöhung halt wesentlich besser, da man über längere Zeiträume auch bei einem Erdschluss weiter versorgen kann. Und bei einer sehr gut eingespielten Servicetruppe und einer sehr guten manuellen Unterstützung des Netzbetriebs wird man die Erdschlüsse relativ rasch finden und auch die technischen Vorkehrungen sollte man auch besser ausbauen, um die Erdschlüsse klarer anzeigen zu können...durch entsprechende Messvorgänge, um den Erdschluss schneller beheben zu können. Ich glaube, dass diese Investition besser ist als wenn man das Netz auf eine niederohmige Sternpunktbehandlung umbaut. Das auf der anderen Seite sehr große Nachteile hat. Und auch unter anderem die Netze nicht dafür ausgelegt sind, da die Fehlerströme dann doch sehr hoch sind. Und die Abschaltzeiten müssen auch in irgendeiner Form gestaffelt werden, da die sonst auch zu hoch werden.

00:29:30

*Interviewer:* Ok, dass wäre es im Wesentlichen von meinen Fragen, dann sage ich einmal danke.

**Interviewpartner:** EXP10

**Datum:** 07.12.2021

**Gesprächsdauer:** -, -

**Durchführung:** schriftlich

**Frage 1:** Welche Trends beherrschen die aktuellen Entwicklungen der Energiewirtschaft und Energieversorgung, bzw. könnten in Zukunft aufkommen?

Dezentrales Einspeiser treffen auf Netzstrukturen der Vergangenheit. EAG führt zu massivem Ausbau. Netzkapazitäten schaffen das nicht ohne Ausbau oder zusätzliche leittechnischen Einsatz (P(U), Q(U)-Regelung).

Prozesse werden immer komplizierter (Technisch u. Kaufmännisch) ohne IT nicht mehr beherrschbar. –Y Risiko eines Hackes wächst. Keiner kann mehr das System gesamtheitlich überblicken.

**Frage 2:** Was sind die Ursachen und wesentlichen Treiber dieser Trends?

- Dezentrale Einspeiser
- Vormarsch von IT-Technologie in die Versorgungsnetze
- Liberalisierung mit Entflechtung von Technik / Physik u. Geschäftsprozessen
- Know-How-Verlust bei den Mitarbeitern

**Frage 3:** Welche Chancen und Risiken sehen Sie in diesen Trends?

Chancen: Für Anlagenbauer Investitionen in Ausbau des Netzes erforderlich (Hard- u. Software)

Risiko: Komplexität steigt, Fähigkeiten der Mitarbeiter diese zu beherrschen?

Black-Out realistischer

**Frage 4:** Welche Technologien zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit sind Ihnen bekannt?

- Konventioneller Ausbau
- Innovative Lösungen wie: RONT / P(U) Q(U)-Regelung / Strangregler (MSP u. NSP) / Speicherlösungen
- Leittechnik auch in die NSP-Netze sowie Verstärkung der Leittechnik im MSP-Netz

**Frage 5:** Welche Technologien könnten Ihrer Meinung nach in Zukunft eingesetzt werden und einen Beitrag zur Versorgungssicherheit leisten?

Ausbau der leittechnischen Systeme bis zu Systemen mit KI und Prognose hinterlegten Handlungsempfehlungen bzw. selbstgesteuerte Eingriffe auf Basis der Prognosen u. Erfolgsszenarien.



**Interviewpartner:** EXP11

**Datum:** 08.03.2022

**Gesprächsdauer:** 26:37 Minuten

**Durchführung:** via MS Teams

00:00:01

*EXP11:* Also ich würde mir die Frage 1 dahingehend beantworten einen kurzen Überblick über die Verbraucher Seite, Erzeuger Seite, dann will ich dann noch auf die Verteilung eingehen. Deswegen bin ich schlecht zu hören mit der Bitte sag mir Bescheid. Bei den Trends würde ich zunächst erzeugerseitig, die durch den großen Einfluss der Erneuerbaren, da vorrangig Photovoltaik und Wind. Die ja eine große Volatilität mit sich bringen und auch Unsicherheiten in der Planung, wobei die auch zunehmend beherrschbar werden. Verbraucher seitig, Verbraucher sind nicht so groß. Da ist der Big Player, der absehbar ist, und von dem wir alle reden die Elektromobilität, die eine entsprechende Ladeinfrastruktur benötigt und wo er auch das Problem auftritt, das das Laden entsprechend gestaffelt werden muss. Das Problem ist allen bewusst, wir kommen am Abend nach Hause wollen das Auto laden in den Orbit reichen, dort ihr Auto aufladen. Das Ganze führt dann zu Problemen aus meiner Sicht in meinem Fachbereich in der Energieübertragung einerseits, dass das Netz ja physikalisch vorgegeben ist, und die entsprechenden Lastflüsse zulassen muss, dass heißt wie wir es gerade Deutschland sehe, dass ein Großerzeugerhotspot im Norden ist, aber der große Verbrauch Hotspot im Süden ist. Also die großen Lastzentren im Süden ist, das Entsprechende zu beherrschen, was das Netz nicht immer zur Verfügung stellt kann. Damit verbunden sind mittlerweile sehr hohe Redispatchkosten, aber nicht mehr genau im Kopf. Aber in letzter Zeit ist der Aufwand an Redispatchkosten enorm geworden. Die Entwicklungen, die sich daraus ergeben, sind da erste dahingehend zu betrachten, dass die Lastschwankungen und die dir die Erzeugungsschwankungen ausgeglichen werden müsste und auch entsprechend Ausfälle abgekupfert werden müsste, da dahingehend, dass, wenn jetzt Wind oder Photovoltaik nicht erzeugen können, dir die Energie trotzdem bereitgestellt werden muss über entsprechende Speicher, das betrifft jetzt das Thema Vergleichmäßigung vielleicht. Was da im Gespräch ist aktuell ist das bei dir auch die Batteriespeicher der Autor, die häufig im Netz sind nutzen kann. Ein großes Thema Richtung Übertragung wär sich in die Gleichspannungübertragung, die jetzt vor allem in Europa nicht Sinnvoll ist, da ja unser Vermaschungsgrad recht hoch ist. Aber zum Beispiel in Deutschland, wo wir vorhin gesprochen haben von diesem großen Nord-Süd Korridor, da wäre eine HGÜ-Übertragung auf jeden Fall sinnvoll. Da werden ja auch diese hybride Konzepte angedacht. Wo die Leitungen auf Gleichspannung gerüstet werden oder zumindest bei der bestehenden Freileitung eine AC-System auf DC umgerüstet wird.

00:03:44

*Interviewer:* Super, danke mal so weit. Da hätte ich noch eine Frage, und zwar du sprichst das ja auch an mit Hochspannung-Gleichstrom-Übertragung und ihr am Instituts seid ja da auch was ich so mitbekommen habe Federführend was so DC-Technologien angeht. Ist es deiner Meinung nach aktueller Trend, dass jetzt mehr DC-Technologien ins Netz kommen, mehr DC-Anwendungen hier vorzufinden sind?

00:04:15

*EXP11:* Die Technologie ist ja grundsätzlich nicht neu und wird ja schon in anderen Ländern, die sehr große Übertragungstrecken vorliegend haben, seit vielen Jahren erfolgreich eingesetzt. Was jetzt sehr attraktiv

macht, sind vielleicht drei Sachen. Einerseits werden die ganzen Umrückeranlagen erschwinglicher mittlerweile, so dass auch teilweise Umrüstungen sinnvoll werden. Das zweite ist, dass hier ein Großteil unserer Lasten eigentlich Gleichspannungslasten sind und nicht Wechselspannungslasten. In der Industrie die Wechselspannung, aber wenn man so an den Konsumerbereich denkt, sei es jetzt Elektromobilität oder alles zu Hause ist es sehr viel DC dabei und dass ein DC-Anteil in der Übertragung berücksichtigt wird, ist sicher sinnvoll. Und der dritte Aspekt der, für den sie zunehmend relevant ist, ist, dass man ja bestehende Strecken auf Gleichspannung umrüsten kann, um diese besser ausnützen zu können. Bei den Übertragungsverluste bei DC geringer sind und weil sich Kabel Strecken mit Gleichspannung effizienter nutzen lassen. Diese Umrüstung war er lange Zeit nicht praktikabler, wird aber mittlerweile immer attraktiver, weil ja die Technologien erschwinglicher werden. Weil andererseits sozusagen müsste ja auch der Netzausbau mit den ganzen Umwälzungen Schritt halten. Nur das ist gegenwärtig auch nicht der Fall. Und da hätte auch noch diese Umrüstung auf DC den großen Vorteil, dass man eine Überhöhung der Übertragungskapazität mit der bestehenden Infrastruktur schon erreichen könnte. Das heißt, man könnte die bestehenden Strecken sei es Kabel oder Freileitung benutzen und schon damit den Bedarf der Erhöhung den man momentan hat abpuffern oder abfangen.

00:06:21

*Interviewer:* Und ihr macht ja auch vom Institut viel Forschung was so den Bereich Mittelspannungstechnik angeht mit DC. Ist das auch schon ein Thema was in Zukunft relevant werden könnte im Bereich der Mittelspannung und vielleicht auch der Niederspannung sogar?

00:06:37

*EXP11:* Ja, den letzte Punkt, den ich vorhin gesagt habe, der dritte Punkt, der betrifft vor allem auch die Mittelspannungsübertragen, also kleinere, kleinere Verteilnetze. Da sehen wir jedenfalls in Relevanz. Da gab es ja auch vom OVE die DC-Initiative. In Deutschland gibt es vergleichbare Projekte. Also ja, ganz klar. Da sehen wir auf jeden Fall Zukunftsrelevanz und Niederspannung das wird dann vor allem vielleicht kleinere Gewerbepark oder Einkaufszentren und vielleicht auch größere Wohneinheiten betreffen. Und da wäre das sicher sinnvoll, weil da auch im Privaten die Durchdringung der Photovoltaik zunimmt. Und es wäre sicher vorstellbar, dass man auch in den Häusern kleine DC-Netze aufbaut, weil ja vorher schon gesagt habe, sehr viele Konsumergeräte intern auch mit Gleichspannung funktionieren und da könnte man sozusagen diese Konversionsschritt aussparen.

00:07:45

*Interviewer:* Okay, dann ist da noch die Frage du hast ja schon einige Trends beleuchtet. Siehst du da jetzt spezielle Chancen oder Risiken für die Zukunft?

00:08:03

*EXP11:* Die größte Chance ist natürlich...ich glaube da muss man einerseits die Minimierung der Emission von Treibhausgasen sehen, die Nachhaltigkeit und auch die Energiewirtschaftliche Unabhängigkeit nicht nur von Österreich aber auch global. Dass sich einzelne Länder dann auch ihre Energie eigens bereitstellen können. Größtes Risiko, ist sicher die Versorgungssicherheit und auch die Physik des Netzes, das ja das Netz organisch gewachsen ist, angepasst an Verbraucherzentren und an einzelne gebündelte Erzeugungszentren. Der derzeitige Trend der Erzeugung geht ja eher zur wie sagt man "Disbursed Generation", also eher kleineren Erzeugungseinheiten und die dafür verstreut. Das größte Risiko im Bereich der Versorgungssicherheit ist einerseits ja. die Volatilität, das heißt der Planungshorizont wird

kürzer. Es müssen die entsprechenden Energiespeicher bereitgestellt werden. Andererseits verliert das Netz ja auch ein bisschen an Stabilität. Man hört das Problem mit dem Mangel an rotierenden Schwungmasse. Das heißt, der Ausfall einzelner Erzeugungseinheiten hat jetzt sicher größere Auswirkungen als vorher. Das heißt auch, dass der Ausfall einer einzelnen Einheit größere Berücksichtigung finden muss als vorher. Das heißt, es wird auch hier entsprechende Backup Lösungen schaffen muss.

00:09:58

*Interviewer:* Okay, dann hätte ich eine sehr spezifische Frage, gerade an euch auf der Universität. Und zwar das Thema Fachkräftemangel ist jetzt ein Thema was weg von dem Gebiet geht, aber auch trotzdem irgendwie einen Einfluss darauf hat. Seht ihr da mittlerweile, dass es da doch zu verringerten Studentenzahlen kommt?

00:10:22

*EXP11:* Ja, der Fachkräftemangel ist etwas, was man hört, egal woher er kommt, es scheint alle größeren Industriebetriebe im Bereich der Elektrotechnik oder auch Zulieferfirmen ein Fachkräftemangel zu haben. Die suchen alle händeringend nach Mitarbeitern und auch wir hier an der TU sehen den mittlerweile sehr stark einbrechende Studienzahlen. Das betrifft nicht alle Fachrichtungen, aber die Elektrotechnik ist davon ganz klar betroffen, sind auch bestrebt gegenzusteuern. Es sind die Ursachen dafür nicht ganz klar. Es gab ein paar Geburtenschwachen Jahrgänge, seit Jahren gab es aber entsprechende geburtenschwachen Jahrgänge. Es sind auch gewisse Abwanderungsphänomene beobachtbar. Es ist die Elektrotechnik der klassischen Sicht und die Energietechnik im Speziellen vielleicht weniger als weniger attraktiv angesehen momentan. Es ist dahingehend Abwanderung Richtung Informationstechnik, Informatik, Biomedical Engineering zu beobachten.

00:11:38

*Interviewer:* Okay, dann hätte ich gesagt Gehen wir zum Zweiten Teil. Da geht es dann eher um Technologien. Einerseits um Technologien, was die so einfallen und zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit beitragen.

00:11:58

*EXP11:* Na ja, da würde ich die große Gruppe der Energiespeicher sehen, dass kann ja Batteriespeicher, Schwungmassen, Gasspeicher, also Compressed-Gas, solche Sachen oder auch nur das Bereithalten von...das Startbarhalten von Gaskraftwerken, die sehr schnell angefahren werden können. Dann zur Versorgungssicherheit auch die große Gruppe der Leistungselektronischen Regeleinheiten wie die FACTS z.B. mit denen ja auch entsprechend Wirk- oder Blindleistung eingespeist werden kann und auch entsprechende Lastfluss gesteuert werden kann. Dann haben sich auch Phasenschiebertransformatoren ihre Berechtigung, um den Lastfluss zu steuern und hier Überlastungszenarien vorzubeugen. Es fällt mir noch ein, dass Bereithalten von thermischen Kraftwerken oder von Laufkraftwerken würde ich als Maßnahme zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit sehen.

00:13:13

*Interviewer:* Vielleicht einmal speziell im Bereich der mittel- und Niederspannungstechnik und da vor allem vielleicht in Richtung deiner Fachgebiete. Das ist ja schon angesprochen, auch das Thema FACTS, glaubst du wird sich da im Mittelspannungsbereich irgendwie eine Relevanz Entwicklungen in dem nächsten Jahre oder ist das eher ein Thema, das die Hochspannungstechnik betrifft?

00:13:39

*EXP11:* Nein, das sehe ich schon, das kann ich mir schon gut vorstellen auf der Mittelspannungsebenen fürs Verteilnetz, weil ja hier auch die Spannungen leicht zu beherrschen sind und weil es ja auch hier oder weil ja auch das Problem der hohen Auslastung das Verteilnetz betrifft. Das ist ja auch gut vermascht, da könnte man ja auch entsprechende alternative Routen oder Korridore finden. Und wie ich es vorher schon an skizziert habe, kann man sich hier auch gut eine höhere Durchdringung der HGÜ im Mittelspannungsnetz vorstellen. Und da wir schon auf der Gleichspannungsebene sind, lässt sich das ja mit FACTS und anderen elektronischen Regelungseinrichtungen gut kombinieren.

00:14:22

*Interviewer:* Okay, da vielleicht, was so Technologien angeht, zum Beispiel, gasisolierte Leitungen etc. ist das glaubst du ein Thema, was in den nächsten zehn, zwanzig Jahren an Relevanz gewinnt?

00:14:36

*EXP11:* Also die Frage wäre jetzt, was man mit einer gasisolierten Leitung ersetzen könnte und die GIL hat sicher gegenüber Kabel und Freileitung einige Vorteile, aber ich glaube eher, dass die nur in Spezialanwendungen zu tragen kommt, das heißt Kavernen Ausleitung oder irgendwelche Kurzkupplungen, wo man jetzt andere Anforderungen hinsichtlich Brandlast, Versorgungssicherheit, große Ströme. Aber ich kann mir nicht vorstellen und mir ist auch nichts bekannt das GIL Kabel oder Freileitungsstrecken Kabel oder Freileitungen im Kilometerbereich ersetzen würden.

00:15:19

*Interviewer:* Okay, vielleicht noch ein Thema was die Versorgungssicherheit betrifft, sind ja Monitoring Systeme und Diagnostik Systeme. Wie siehst du da die Entwicklung? Was könnte da vor allem auf dem Mittel und Niederspannungsbereich in Zukunft an Relevanz gewinnen?

00:15:38

*EXP11:* Ja, da gibt es zwei Schlagworte, das erste ist IoT, das heißt mittlerweile sind ja alle Sensoren untereinander gut vernetzt Das man ein Monitoring für einen Trafos oder Generatoren macht gibt es ja schon länger, aber da musste ja oft noch jemand hinfahren und Öl-Proben ziehen oder irgendwelche Messungen durchführen. Mittlerweile ist das alles erschwinglich geworden, dass man die Monitoring Diagnostik Einheiten an den Geräten angebracht lassen kann und diese dann entsprechend auch nach Hause funken. Die sind mittlerweile alle irgendwie ans Internet angebunden und das zweite sind entsprechende Experten Systeme, das heißt im Bereich des maschinellen Lernens. Das sind die, das jetzt nicht alle Daten von Hand ausgewertet werden müssen, sondern dass die entsprechenden Cloud Konzepte im Hintergrund für die Daten hochgeladen werden, wo die Geräte durch die Experten Systeme ausgewertet werden. Und dann, dass dieser Anschlag irgendwelche gefährlichen Trends zu erkennen sind, z.B. wenn jetzt in einem Transformator irgendwelche Defekte sichtbar werden. Ich glaube nicht, dass jetzt Experten Systeme speziell in große Anlagen, die eigentlich menschlichen Experten ersetzt werden können. Viele Sachen sind ja bei vielen Sachen auch Fingerspitzengefühl und mehrjährige Erfahrung gefragt. Aber so für Indikatoren, Ampelsysteme, kleinere Anlagen, weniger sicherheitsrelevante Einrichtungen ist das Monitoring durch Expertensysteme in Kombination mit maschinellem Lernen absehbar würde ich sagen.

00:17:26

*Interviewer:* Ok und so andere Diagnostikkonzepte ist das jetzt eher nur das Monitoring von Trafos oder auch andere Betriebsmittel, wie Kabeln oder so?

00:17:38

*EXP11:* Ja, das ist ein guter Punkt. Also auch bei Kabelstrecken und bei Freileitungen ist man ja heute sehr bemüht. Bei Freileitungen ist ja der große Knackpunkt die Auslastung der Freiheit. Da geht es weniger als darum, dass man den Zustand des Betriebsmittels misst, bei der Freileitung gibt es ja nur wenige dekretierende Effekte. Hier geht es darum, dass man betrachtet, wie groß ist der aktuelle Betriebsstrom über die Leitung, wie viel Stromerhöhung ist noch zulässig und da wird mit gemonitort der Durchhang der Freileitung oder auch die ganzen Umweltbedingungen, weil es ist ja letztlich die Umwelt, das heißt, Wind, Umgebungstemperatur, die mitbestimmen, welche Stromerhöhung für die Freileitung jetzt noch zulässig wäre. Beim Kabel ist sicher auch die Temperatur ein wichtiges Thema. Aber bei Kabel kann ja auch die grassierenden Effekte erleben, die ganze Reihe, die ganze breite Palette von Teilentladungen. Das heißt, bei Kabel kann man sich auch vorstellen, was auch gemacht wird ein TE-Moderatorin oder ein Verlustfaktormonitoring oder auch das Mitführen von einem LWL über die ganzen Kabelstrecken, um hier punktuelle Hotspots zu erkennen.

00:18:56

*Interviewer:* und so beim Thema Monitoring oder Einflussfaktor, dann gibt es da schon Ihr Online Monitoring System auch für Kabel? Oder ist es wirklich immer nur, dass ich sage ich muss hinfahren, machen Messungen und bin dann wieder weg?

00:19:08

*EXP11:* Ja, das ist mir zu wenig bekannt, fürchte ich. Ich glaube bei...die konventionellen TE-Messung würde da ja bei Mittelspannungskabeln eher ausfallen als Relevanz. Ich glaube was da gemacht wird, ist eher so neuartige Konzepte. Zum Beispiel über Rogowski-Spule, also induktive Wandler am Schirm z.B. des Endverschlusses. Das wird glaube ich gemacht. Bei Kabeln in der Übertragungsebene, 400kV Kabel, da ist der Aufwand den wesentlich höher, weil auch die Auswirkungen eines Ausfalls größer werden. Hier wird glaube ich schon forcierte TE-Monitoring durchgeführt, nicht nur eine TE-Messung auf Abruf bei Bedarf, sondern auch über die ganze Lebensdauer.

00:20:03

*Interviewer:* Und auch weil Ihr viel Diagnostik am Institut macht, z.B. störungsfreie Diagnostik Verfahren, wird da in Zukunft mehr werden, weil wir das Problem haben bei den Kabelprüfungen ist immer, ich habe hohe Spannungen, mit denen ich prüfe. Was sich doch eher negativ auf das Betriebsmittel auswirkt.

00:20:23

*EXP11:* Ja, also der Trend geht, du sprichst da was ganz was Wichtiges diese Spannungsbelastungen speziell für betriebsgealterte Kabel recht hoch. Es geht da ja der Trend ganz klar in Richtung fein Diagnostik. Also an einem Transformator, in der Verteilebene oder Übertragungsebene werden jetzt in jährlichen Abschnitten glaube ich Messungen durchgeführter die bis zu mehreren Tagen in Anspruch nehmen, die dann auch auf die einzelnen Komponenten abzielen und die dann diagnostizieren sollen. Da gibt es die große Palette der Frequency-Domain-Spectroscopy, wo man versucht aus der Frequenzantwort heraus Rückschlüsse zu ziehen, was ja auch für Transformatoren, zum Beispiel bei der Durchführung, beim Isolationssystem recht gut klappt. Also FDS ist da sicher ein zukunftsträchtiges Monitoring oder diagnostische Maßnahme, weil ja auch die Spannungsbelastung geringer wird. Bei Trafos ist auch die Öl-Diagnostik mittlerweile sehr sehr etabliert, sowohl als online, aber auch offline Maßnahme. Bei Generatoren

fürchte ich, weiß ich es zu wenig. Da ist sicher das TE Monitor / die TE Diagnostik eine der wichtigsten Maßnahmen. Die Verlust Faktor Messung, eine Widerstandsmessung, solche Sachen.

00:21:49

*Interviewer:* Ok, das dann hätte ich noch zwei Fragen vorbereitet. Ich weiß nicht wie gut du dich damit auskennt, ich probiere es einfach einmal. Es ist nicht dein Fachgebiet...und zwar zu dem Thema Smart Meter und Meter-Data-Management. Wie weit du da über aktuelle Entwicklungen Bescheid weißt.

00:22:18

*EXP11:* Sehr wenig fürchte ich. Eine Sache, die mir bewusst ist, wozu das gut ist. Wozu das gut ist um reale und reale um den realen Verbrauch zu erfassen und um auch für die nächsten Tage voraus planen zu können. Wie vorhergesagt, der Planungshorizont wird ja immer schmaler und man brauch ja auch die entsprechenden Szenarien, um die Prognose durchführen zu können. Einerseits für das Netz, andererseits für die Energiebereitstellung. Und da hilft es natürlich, wenn man aktuelle Daten von den Verbrauchern hat.

00:22:52

*Interviewer:* Okay, und vielleicht auch zu einer Thematik ist jetzt auch nicht dein Spezialgebiet, aber was sich so in der Schutztechnik tun wird, ist dir da was bekannt.

00:23:06

*EXP11:* Naja Schutztechnisch sind mir jetzt nur zwei Herausforderungen bekannt. Früher war es hier so, dass der Lastfluss recht vorgegeben war und für alle gut verständlich vom Kraftwerk hin zum Verbraucher. Mittlerweile reden wir ja vom Prosumer, das heißt viele Verbraucher sind auch gleichzeitig ihre eigenen Versorger geworden. Ich denke da an die Photovoltaikanlage am Dach, wo auch viele in das Netz zurück speisen. Der Schutz muss auch das erfassen mittlerweile, dass ein Leistungsplus auch von der Verbraucher Seite kommen kann oder auch die Energie Einspeisung verbraucherseitig erfolgen kann. Das ist das eine. Andererseits sind ja auch die Kurvenformen, die man im Netz antrifft, immer komplexer geworden, der Oberwellengehalt nimmt ja zu. Mittlerweile was früher ein schöner Sinusförmiger Strom da ist mittlerweile ja stark verzerrt und bei der Fehlerortung und solche Sachen ist es glaube ich mittlerweile zu berücksichtigen und auch eine größere Herausforderung geworden.

00:24:12

*Interviewer:* Okay, und vielleicht auch noch die abschließende Frage, Fallen dir vielleicht so allgemeine Empfehlungen ein, wie man die Versorgungssicherheit in den Netzen in Zukunft oder auch aktuell verbessern könnte?

00:24:27

*EXP11:* Das möchte ich mir jetzt vielleicht einmal einen kritischen Hinweis erlauben, dass mit der Versorgungssicherheit ist ja ein Thema, was mittlerweile oft hört die große, die große Furcht vor Blackout oder der Wunsch, die Versorgungssicherheit zu verbessern. Aber die Versorgungssicherheit ist ja in Zentraleuropa enorm gut. Man könnte da heute fragen, wann der letzte Stromausfall war, der länger gedauert hat. Ich glaube, da hat kaum jemand noch irgendwas parat. Es mag wohl Risiken geben jetzt aufgrund der Änderungen in der Erzeugungsstruktur aber die Sicherheit an sich ist ja momentan enorm gut. Die Änderungen in der Struktur, die müssen berücksichtigt werden, aber das wird gemacht einerseits durch Bereithalten von irgendwelchen Backup Lösungen, falls was ausfallen sollte, und andererseits Maßnahmen zur Stabilität oder zur Verbesserung der Stabilität zur Verbesserung der Frequenz Haltung.

Das kann ja auch auf hydraulische Basis erfolgen. Also sehe ich erstens Energie bereithalten und zweitens Stabilisierung.

00:25:49

*Interviewer:* Ist das mit der Bereithaltung in Richtung (n-1) Sicherheit zu verstehen oder.....von der Bereithaltung von Kraftwerken sozusagen?

00:26:00

*EXP11:* Ja, das wäre, ich würde das Sehen, einerseits das Bereithalten von Kraftwerken, dass diese kurzfristig verfügbar bleiben und einerseits, dass man jetzt auch größere Ausfälle von Windparks oder Photovoltaik Parks ausgleichen kann. Ich sage Ihnen wenig in wenigen Minuten abrufbar. Und andererseits, wenn sie es doch mal größeren Zwischenfall kommt, dass dann doch noch größere Kraftwerke verfügbar sind, verfügbar bleiben, die die Versorgungssicherheit längerfristig ausbehaaren können.

00:26:37

*Interviewer:* Okay, dann sage so weiter. Vielen Dank.

## ANHANG 5: TRENDSTECKBRIEFE

### Beschreibung

Der Bedarf an Primärenergie, insbesondere solche aus fossilen Energieträgern wie Öl, Kohle und Gas ist weltweit am Steigen. Die Ursachen für den steigenden Primärenergiebedarf sind vor allem in der Zunahme der Weltbevölkerung und dem weltweiten Wirtschaftswachstum zu finden. Trotz dem Versuch vieler Industrieländer, Ihre Abhängigkeit von fossilen Energieträgern zu reduzieren, wird der Bedarf in den Entwicklungs- und Schwellenländern weiter steigen.

### Treiber

- Zunahme der Weltbevölkerung
- Weltweites Wirtschaftswachstum

### Ausprägungen

- Zunahme des Primärenergiebedarfs um x %
- Stagnation des Primärenergiebedarfs
- Reduktion des Primärenergiebedarfs um x %

Global steigender Primärenergiebedarf

### Chancen

- Globaler Aufschwung
- Bekämpfung der Armut
- Regionale Wertschöpfung in der Energieproduktion
- Umstieg auf alternative Energien

### Risiken

- Umweltbelastung
- Zunahme der Treibhausgase
- Zunahme der Ungleichheit
- Versorgungengpässe

Gesellschaftstrend

### Beschreibung

In Österreich und Europa ist der Stromverbrauch in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich gestiegen. Zurückzuführen ist diese Zunahme dahingehend, dass der Energiebedarf stark mit dem Wirtschaftswachstum, aber auch dem Bevölkerungswachstum gekoppelt war. Viele OECD-Ländern (darunter auch Österreich) konnten mittels Energieeffizienzmaßnahmen den Energieverbrauch vom Wirtschaftswachstum entkoppelt. Zumindest in Hinblick auf den Strombedarf ist jedoch eine Zunahme zu erwarten. Ursachen ist vor allem die Elektrifizierung vieler Sektoren wie z.B. der Verkehr oder die Wärmeerzeugung und die damit verbundene Substitution andere Energieträger wie Öl, Gas oder Kohle.

### Treiber

- Elektrifizierung des Verkehrssektors
- Elektrifizierung des Wärmesektors
- Elektrifizierung des Gassektors
- Substitution fossiler Energieträger
- Dekarbonisierung

### Ausprägungen

- Zunahme des Strombedarfs um x %
- Stagnation des Strombedarfs
- Reduktion de Strombedarfs um x %

Steigerung des Strombedarfs

### Chancen

- Klimaschutz
- Effizienzsteigerung
- Regionale Wertschöpfung in der Energieproduktion
- Steigerung der Energiesouveränität

### Risiken

- Steigende Kosten des Energiesystems
- Zunahme der Strompreise
- Verschlechterung der Versorgungssicherheit bedingt durch den fehlende Ausbau der Infrastruktur
- Zunahme der Umweltbelastung

Gesellschaftstrend



**Beschreibung**

Mit dem Megatrend der Neo-Ökologie, rückt auch eine saubere und nachhaltige Energieversorgung immer mehr in das Bewusstsein der Gesellschaft. Historische Daten über die weltweite Entwicklung von erneuerbaren Energien, sowie nationale Aufzeichnungen deuten auf einen eindeutigen Trend hinsichtlich der Zunahme an regenerativen Energiequellen hin. In Österreich ist die Wasserkraft aus historischen Gründen die größte regenerative Energiequelle. Wobei die Bedeutung von Windkraft, gefolgt von Photovoltaik und festen biogenen Energien zunimmt.

**Treiber**

- Dekarbonisierung
- Klimawandel
- Veränderung
- Neue Kundentypen und Konsummuster
- Sinkende Preise für regenerative Energiequellen

**Ausprägungen**

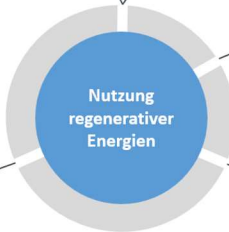
- Zunahme der regenerativen Energien am Strommix um x %
- X % Photovoltaik
- X % Windkraft
- X % Wasserkraft
- X % Biomasse

**Chancen**

- Klimaschutz
- Regionale Wertschöpfung in der Energieproduktion
- Energiesouveränität
- Sinkende Energiekosten

**Risiken**

- Steigerung der Kosten des Energiesystems
- Gefahr für die Versorgungssicherheit
- Strompreisschwankungen
- Zunahme des Redispatch
- Verdrängung konventioneller Kraftwerke



Gesellschaftstrend

**Beschreibung**

Die Ablehnung gegen Großprojekte im Bereich der Energietechnik wie beispielhaft Zwentendorf oder der Bau der Steiermark- oder Salzburgleitung, sowie kleinere Projekte wie das Murkraftwerk in Graz war in der österreichischen Bevölkerung bereits in der Vergangenheit stark ausgeprägt. Unter dem Begriff „Fridays for Future“ hat sich eine, wenn nicht die größte Jugendbewegung aller Zeiten gebildet. Diese Entwicklung steht zugleich stellvertretend für eine neue Ära der weltweiten Protestkultur. Diese Entwicklungen werden sich auch spürbar auf Energie- und Infrastrukturprojekte auswirken.

**Treiber**

- Klimawandel
- Klimaschutz
- Umweltschutz
- Fridays for Future
- Digitalisierung /Soziale Netzwerke

**Ausprägungen**

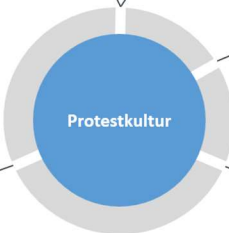
- Radikalisierung der Protestkultur
- Zunehmender Einfluss auf die Öffentlichkeit und Politik
- Rückgang der Protestkultur auf lokaler Ebene, durch die Einbindung der Bürg via Veranstaltungen und Beteiligungsprojekte

**Chancen**

- Einbindung der Bevölkerung in Infrastrukturprojekte
- Soziale Gleichheit durch lukrative Beteiligungsprojekte
- Steigerung der Begeisterung für erneuerbare Energien in der Bevölkerung
- Förderung eines konstruktiven Dialogs
- Umwelt- und Klimaschutz

**Risiken**

- Verzögerung relevanter Projekte
- Negative Beeinflussung der öffentlichen Meinung
- Negative Beeinflussung der Politik
- Gefahr für Projektbeteiligte
- Steigende Projektkosten



Gesellschaftstrend

**Beschreibung**

Die aktuellen Entwicklungen zeigen, dass die Digitalisierung, welche bereits unsere Gesellschaft durchdrungen hat, in den kommenden Jahren einen noch bedeutenderen Einfluss auf die Energieversorgung haben wird, als Sie jetzt schon hat. So wird es zu einer Digitalisierung der gesamten Wertschöpfungskette kommen. Getrieben wird dieser Trend durch das Aufkommen neuer Schlüsseltechnologien wie Smart-Meter (intelligenter Stromzähler), Big Data oder der Blockchain Technologie. Aber auch der steigende Kostendruck, neue Geschäftsprozesse und die Bedürfnisse der digitalen Kunden treibt die Digitalisierung der Energiewirtschaft voran.

**Treiber**

- Neue Schlüsseltechnologien wie Smart Meter, Big Data oder Blockchain
- Gesteigerte Leistungsfähigkeit von Prozessoren
- Steigender Kostendruck
- Neue Geschäftsmodelle
- Gesetze zur Digitalisierung (Bsp. Smart Meter Rollout)
- Bedürfnisse digitaler Kunden

**Chancen**

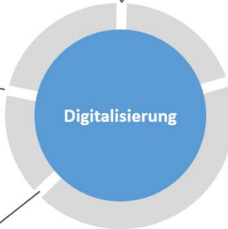
- Bessere Überwachung der Netze, damit lassen sich Engpässe besser erkennen, aber auch das Netz effizienter nutzen
- Besser Integration von erneuerbaren
- Adaption von Energiemanagement Systemen
- Sichtbarmachen von freien Netzkapazitäten
- Informationsgewinn

**Ausprägungen**

- Stagnierende Digitalisierung der Netze (Smart Meter Daten nicht einsehbar, kein Ausbau von Messsystemen, ...)
- Konstante Zunahme der Digitalisierung der Netze (Smart Meter Daten, Verstärkte Nutzung von Messgeräten, Energiemonitoring an den wichtigsten Knotenpunkten)
- Starke Zunahme der Digitalisierung (Smart Meter Daten, Kunden Daten von anderen Geräte z.B. Ladestationen, SCADA-System auf der MSP und NSP)
- Digital-Grid (Kenntnis über jeden Verbraucher im Netz, SCADA-System auf der MS und Niederspannung, Simulationen von Netzknoten, kontinuierliche Lastflussrechnung, BIG Data, Optimierungen, Digital Twin)

**Risiken**

- Gefahr von Cyberangriffen
- Datensicherheit
- Übereiltes Rollout von neuen Technologien kann zu massiven Problemen führen
- Datenmenge nicht mehr beherrschbar



Technologietrend

**Beschreibung**

Gekennzeichnet ist der Trend der Dezentralisierung durch die Zunahme von kleinen dezentralen Erzeugungsanlagen. Diese Entwicklung wird vor allem durch die Verbesserung der Anlagentechnik für erneuerbare Energien, sowie den sinkenden Investitionskosten beschleunigt. Diese dezentralen und stochastischen Einspeisestrukturen werden in Zukunft zu einem immer komplexeren Flexibilitätsmanagement, in Verbindung mit einem intelligenteren Stromnetz (sog. Smart Grid) führen. Zusätzlich werden dezentrale Energiespeicher- und Energiemanagementtechnologien einen wichtigen Beitrag zum Ausgleich von Angebot und Nachfrage leisten. Somit wird sich die Struktur des elektrischen Energiesystems maßgeblich verändern.

**Treiber**

- Zunahme an erneuerbaren Energien
- Dekarbonisierung
- Sinkende Investitionskosten für Anlagen
- Förderungen
- Flexibilisierung

**Ausprägungen**

- Zunahme der dezentralen Einspeiser um x %
- Zunahme der dezentralen Speicher um x %
- Einführung von Energiemanagementsystemen
- Zugriff auf Verbraucheranlagen (Lastmanagement)
- Zugriff auf Erzeugungsanlagen

**Chancen**

- Integration erneuerbarer Energiequellen
- Stromspeicher zum Ausgleich von volatiler Erzeugung
- Höhere Auslastungsgrad (Speicher / Notstromaggregate)
- Flexibilitätsmanagement sorgt für Entlastung von Übertragungsnetze da Energie lokal verbraucht und erzeugt wird
- Zugriff auf viele Anlagen für Blindleistungs-, Last- u. Einspeisemanagement
- Senkung von Stromkosten aufgrund günstiger erneuerbarer Energie

**Risiken**

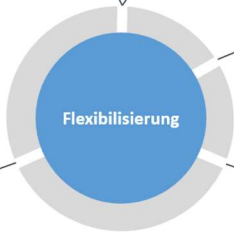
- Komplexität nicht mehr beherrschbar
- Nicht mehr beherrschbare Lastflüsse
- Überbeanspruchung der Netze
- Fehlende Infrastruktur
- Verschlechterung der Spannungsqualität
- Steigende Netzgebühren
- Steigende Volatilität



Technologietrend

**Beschreibung**

Aktuelle Entwicklungen wie der Ausbau volatiler erneuerbarer Energien und der damit verbundenen Zunahme an Stromüber- aber auch Unterschüssen, die Dezentralisierung, der fehlende Netzausbau und das Ausscheiden konventioneller Kraftwerke führt zu einem Paradigmenwechsel. Nämlich die Ausrichtung von einem Bedarfsgerechten zu einem Dargebot abhängigen Energiesystem. Um diese Entwicklung zu gewährleisten, müssen Flexibilitäten (Speicher, Demand-Side-Management, Sektorkopplung, o.ä.) geschaffen werden. Mit dem zunehmenden Bedarf an Flexibilitäten werden in Zukunft neue Technologien und neue Märkte geschaffen. Der Trend der Flexibilisierung führt jedoch auch zu einem Bedarf an neuen regulativen Vorgaben.



**Treiber**

- Zunahme an erneuerbaren Energien
- Sinkende Investitionskosten für Anlagen
- Förderungen
- Regulative Anreize
- Dezentralisierung
- Digitalisierung

**Ausprägungen**

- Zunahme der Speicherkapazität im Netz um x %
- Vorschreibung eines Flexibilitätsmanagement für Großkunden
- Vorschreibung eines Flexibilitätsmanagement für Prosumer
- Reduktion der Netzegebühren für Flexibilisierungsmaßnahmen

**Chancen**

- Integration erneuerbarer Energiequellen
- Sinkende Netzegebühren
- Stromspeicher zum Ausgleich von volatiler Erzeugung
- Höhere Autagiegrad (Speicher / Notstromaggregate)
- Flexibilitätsmanagement sorgt für Entlastung von Übertragungsnetze da Energie lokal verbraucht und erzeugt wird
- Senkung der Stromkosten aufgrund der hohen Flexibilität (Kauf bei günstigen Energiepreisen)
- Reduktion von Lastspitzen

**Risiken**

- Steigende Komplexität
- Gleichzeitiger Energiekauf bei vermeintlich günstigen Energiepreisen → Treibende Kosten
- Fehlende Wirtschaftlichkeit

Technologietrend

**Beschreibung**

Die Zunahme an erneuerbaren Energieträgern im Strommix führen zu einigen essenziellen Veränderungen in der systemischen Betrachtung und ganzheitlichen Optimierung des Energiesystems. Daraus resultiert der Bedarf, der Koppelung der Sektoren Strom, Wärme, Gas und Verkehr. Durch die Verbindung der Sektoren, können Stromüberschüsse aus regenerativen Energiequellen in den Sektoren Wärme, Verkehr oder synthetische Gase oder synthetische Kraftstoffe eingesetzt werden. Die Sektorkopplung schafft somit Flexibilitäten und kann daneben die CO2 Emissionen reduzieren.



**Treiber**

- Zunahme an Überschussstrom
- Elektrifizierung anderer Sektoren
- Dekarbonisierung
- Politische Zielsetzungen
- Effizienzmaßnahmen
- Steigende Energiepreise
- Flexibilisierung

**Ausprägungen**

- Sektorkopplung nur in kleinen Rahmen (Wärmepumpen / E-Autos) nur geringes Potential
- Sektorkopplung im größeren Rahmen (Wärmepumpen / E-Autos / Fernwärme) Geringe Mengen an Überschussstrom speicherbar aber nur in eine Richtung
- Sektorkopplung im vollen Umfang (Wärmepumpen / E-Autos / Fernwärme / Wasserstoff) aber nur in eine Richtung
- Geschlossene Einheiten (Wärmepumpen / E-Autos / Fernwärme / Wasserstoff) Kopplung in beide Richtungen möglich

**Chancen**

- CO2 Reduktion aufgrund der Elektrifizierung diverser Sektoren
- Effizienz-Steigerung des Energiesystems
- Nutzung von Stromüberschüssen
- Schaffung von Flexibilitäten
- Erhöhung der Versorgungssicherheit
- Erhöhung des Autonomiegrades

**Risiken**

- Fehlende Wirtschaftlichkeit
- Überbeanspruchung der Netzstrukturen aufgrund der erhöhten Nutzung elektrischer Energie
- Fehlende Effizienz (z.B. Strom zur Wärmeerzeugung)

Technologietrend

**Beschreibung**

Der von der nationalen als auch europäischen Politik geforderte Zuwachs an Neuzulassungen von Elektrofahrzeugen führt zu einer zunehmenden Elektrifizierung des Verkehrssektors. Aktuell wächst der Bestand von Elektrofahrzeugen in Österreich exponentiell, wobei der gesamte Bestand an elektrisch betriebenen PKW im August 2021 bei ca. 1,3% lag. Die Zunahme an Elektrofahrzeugen hat neben dem steigenden Strombedarf vielfältige Folgeerscheinungen, wie beispielhaft die Zunahme an Ladepunkten im privaten und öffentlichen Bereich und dem damit verbundene Netzausbau (oder Verstärkung). Weiters ist mit einer mehr oder weniger starken Beeinflussung der Spannungsqualität zu rechnen. Neben E-Autos werden in Zukunft aber auch vermehrt Elektrofahräder, E-Busse oder sogar Drohnen am öffentlichen Verkehr teilnehmen. Daneben wird es auch vermehrt zu einer Elektrifizierung des Transportsektors und der Schiene kommen.



**Treiber**

- Dekarbonisierung
- Förderungen
- Sinkende Preise für Elektrofahrzeuge
- CO2 Bepreisung
- Gesellschaftliches Umdenken

**Ausprägungen**

- Zunahme auf xx % bis 2030, E-Autos als reine Lasten
- Zunahme auf xx % bis 2030, Vehicle to Grid
- Zunahme auf xx% bis 2030, E-Autos als reine Lasten, aber mit Lastreduktion (Power-System-Cognition)
- Massiver E-Auto anstieg auf XY%, ohne Vehicle to Grid Technologien und Lastmanagement

**Risiken**

- Erhöhte Lastspitzen
- Beeinflussung der Spannungsqualität aufgrund der Ladeinfrastruktur (Oberwellen)
- Übertretung des Spannungsbands
- Zu geringe Anschlussleistungen
- Überbeanspruchung der Netzinfrastruktur
- Schlechte ÖKO-Bilanz (Batterien, Stromquellen)

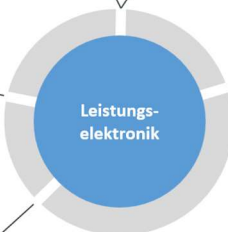
**Chancen**

- Integration Erneuerbarer Energiequellen
- Schaffung von Flexibilitäten
- E-Autos können als Energiespeicher fungieren
- CO2 Reduktion im Verkehrssektor
- Reduktion der Abhängigkeit von fossilen Energiequellen

Technologietrend

**Beschreibung**

Leistungselektronische Komponenten finden zusehends Einzug in die heutigen Stromnetze. Vorwiegend in Form von Umrichtern für die Stromerzeugung mittels regenerativer Energiequellen oder für den Betrieb elektrischer Maschinen. Die Anwendungen reichen von kleinen Leistungen im Haushaltsbereich für den Betrieb von elektronischen Komponenten, bis hin zu Leistungen im zweistelligen MW Bereich für die Hochspannungsgleichstromübertragung. Die Auswirkungen auf die Netze sind vielfältig. Die niedrige Kurzschlussleistung und die Erzeugung von Oberwellen sind nicht gerade förderlich für die Spannungsqualität. Daneben bietet diese neue Technologie unzählige Möglichkeiten zur Steuer und Regelung, bis hin zu Grid-Forming Anwendungen.



**Treiber**

- Zunahme an regenerativen Energiequellen
- Zunahme der Leistungsfähigkeit Leistungselektronischer Komponenten
- Zunahme an DC-Anwendungen
- Zunahme an Elektrofahrzeugen

**Ausprägungen**

- Leistungselektronik vorwiegend Netzgeführt. Max. Einsatz zur cos(phi) Vorgabe bei Einspeisern. Anzahl am Umrichtern relativ hoch, aber noch kein merklicher Einfluss auf die Netzqualität.
- Leistungselektronik mit x % Grid Forming Technologie. Positive Effekte der Umrichter überwiegen.
- Leistungselektronik nahezu ausschließlich Netzgeführt. Negative Einflüsse überwiegen. Aufgrund der Oberwellen kommt es bei einzelnen Netzabschnitten zu Problemen mit der Spannungsqualität. Verringerung der Kurzschlussleistung im MS-Netz.

**Chancen**

- Grid Forming Anwendungen
- Lieferung von Systemdienstleistungen
- Können zum Aufbau von Inseln bei einem Blackout genutzt werden
- In Kombination mit Management und Leittechniksystemen lassen sich andere Technologien wie z.B. Regeltrafos oder Spannungs-konstanthalter durch Umrichter substituieren
- Geringe Kosten

**Risiken**

- Fehlende Schwungmasse im Netze
- Fehlende Kurzschlussleistung
- Verunreinigung des Netz durch Oberwellen, etc.
- Blindleistungsmangel
- Im Fehlerfall kann es zu spontanen Lastabwurf oder Lastzuschaltung kommen

Technologietrend

**Beschreibung**

Die Anwendung von Gleichspannung zum Transport und zur Verwertung von elektrischer Energie reichen bis zu den Ursprüngen der Elektrotechnik zurück. Obwohl diese Technologie von der Wechselspannungstechnik dominiert wurde, gab es trotzdem vielfältige Anwendungen, wie beispielhaft Gleichstrommotoren aber auch exotische Anwendungen wie die Gleichstromkurzkupplung (z.B. Dümrohr 1983-1996). Aktuell ist eine Zunahme an DC-Anwendungen (Photovoltaik, Elektronik, E-Autos, o.ä.) zu verzeichnen. Besonders im Übertragungsnetz in Form der Hochspannungsgleichstromübertragung, aber auch die Anwendung in der Industrie und im Haushaltsbereich. Die Auswirkungen und Tendenzen von DC-Technologien in den Verteilnetzen sind noch fraglich.

**Chancen**

- Verbesserung der Spannungsqualität aufgrund der hohen Regelfähigkeit
- Effizienzsteigerung (Bsp. in der Energieübertragung)
- Schaffung von DC-Inseln
- Keine Blindleistung notwendig
- Reduktion des Löschstromes

**Risiken**

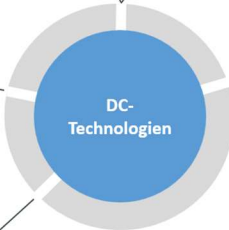
- Komplexität
- Personensicherheit
- Fehlinvestitionen
- Reduktion der Kurzschlussleistung
- Verunreinigung des Netzes durch Oberwellen

**Treiber**

- Zunahme der Leistungsfähigkeit Leistungselektronischer Komponenten
- Sinkende Kosten für Leistungselektronik
- Zunahme an DC-Anwendungen im Haushalt
- Zunahme an DC-Anwendungen in der Industrie
- Zunahme an Elektrofahrzeugen

**Ausprägungen**

- DC-Technologien ausschließlich im privaten und industriellen Bereich
- DC-Technologien für Spezialanwendungen wie die MV/DC-Übertragung, oder DC-Kupplungen. Beispielsweise für die Anbindung von Windparks an das Stromnetz.
- Schaffung von DC-Inseln für die Industrie, E-Ladeparks und Gewerbe.
- Schaffung von parallelen DC-Netzstrukturen



Technologietrend

**Beschreibung**

Mit der Liberalisierung der Energiewirtschaft öffnete sich der Markt für viele neue Akteure im Energiehandel. Neue gesetzliche und technische Entwicklungen schafften Möglichkeiten für virtuelle Kraftwerke, den Handel mit Regelernergie und sogar die Vermarktung von diversen Systemdienstleistungen. Neue Entwicklungen wie, Smart-Meter, BIG-Data oder die Distributed-Ledger-Technologie (Blockchain) werden neue Geschäftsfelder öffnen. Die aktuelle Tendenz geht in Richtung Demokratisierung und damit auch in Richtung Börsen oder sogar Bilanzgruppen unabhängigen Stromhandel.

**Chancen**

- Schaffung von Flexibilitäten
- Steigerung der wirtschaftlichen Effizienz
- Erhöhung der Energieautarkie

**Risiken**

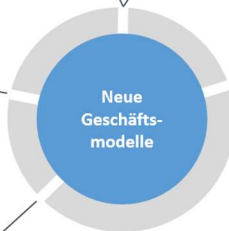
- Zunahme der Komplexität
- Zunahme der Volatilität
- Steigende Netzgebühren
- Weitere Entflechtung von Physik / Technik und Geschäftsprozessen

**Treiber**

- Liberalisierung mit der Entflechtung von Technik / Physik und Geschäftsprozessen
- Demokratisierung
- Digitalisierung
- Flexibilisierung
- Gesetze und Regularien

**Ausprägungen**

- Vermarktung von Systemdienstleistungen von priv. Kunden
- Vermarktung von Systemdienstleistungen von ind. Kunden
- Vermarktung von Systemdienstleistungen von gew. Kunden
- Zunahme von Energiegemeinschaften
- Bilanzgruppen unabhängiger Stromhandel
- Direktvermarktung von Energie
- Zugang zum Spotmarkt für Kleinkunden



Wirtschaftstrend



### Beschreibung

Neben den „klassischen“ Kundentypen, bzw. den „Versorgt-werden-Woller“, welche eine sehr passive Haltung gegenüber Ihrem Energiekonsum einnehmen, gestehen neue Kundentypen und Konsumverhalten. Unter dem Schlagwort Prosumer, werden Kunden in Zukunft gleichzeitig Energie beziehen und erzeugen, aber womöglich auch damit handeln und Systemdienstleistungen vermarkten. Die Motivationen dieses Kundentypen sind unter anderem der Umweltschutz, ein Kontroll- und Sicherheitsbedürfnis, aber auch ein Pragmatismus hinsichtlich Effizienzsteigerung und wirtschaftlich Gesichtspunkte. Besonders das zunehmende Angebot an kosteneffizienten Technologien wie PV-Kleinanlagen, günstige Speichertechnologien, aber auch die Digitalisierung beflügelt diesen Trend.

### Treiber

- Saubere Nachhaltige Energieversorgung
- Wirtschaftliche Vorteile
- Demokratisierung
- Unabhängigkeit vom Stromsystem
- Kontrolle- und Sicherheitsbedürfnis
- Digitalisierung

### Ausprägungen

- Kunden bleiben in der breiten Masse reine Konsumenten
- Zunahme an Prosumern im Bereich Einfamilienhäuser
- Zunahme an Prosumern in allen Bevölkerungsschichten, Einfamilienhäusern, Energiegemeinschaften, etc.
- Hoher Prosumer Anteil (ca. 50%) in allen Bevölkerungsschichten, Einfamilienhäusern, Energiegemeinschaften.

Neue  
Kundentypen  
u. Kunden-  
verhalten

### Chancen

- Schaffung von Flexibilitäten
- Lokale Energieerzeugung und –verbrauch
- Erhöhung der Energieautarkie
- Erhöhung der Versorgungssicherheit einzelner Haushalte

### Risiken

- Zunahme der Komplexität
- Zunahme der Volatilität
- Steigende Netzgebühren
- Entflechtung von Physik / Technik und Geschäftsprozessen

Wirtschaftstrend

### Beschreibung

Mit dem zunehmenden Ausscheiden der Baby-Boomer Generation (Jahrgang 1946-1964) aus dem Arbeitsmarkt geht viel Know-How verloren. Nun drängen die geburtschwachen Jahrgänge der Generation Y (1980-1993) und Generation Z (ab 1994) auf den Arbeitsmarkt. Diese Konstellation führt zu einem Mangel an qualifizierten Arbeitskräften. Weiters wird diese Entwicklung durch einen Wandel der Arbeitswelt, da die Arbeit flexibler und agiler als auch die Arbeitnehmer mobiler und ortsunabhängiger werden befeuert. Hinzu kommt ein zunehmender Wertekonflikt (Work/Life-Balance, Hierarchien, etc.) zwischen den Generationen. Auch die Elektrizitätswirtschaft und Energietechnik bleibt von dieser Entwicklung nicht verschont. Das beginnt mit der verzweifelten Suche vieler Unternehmen nach qualifizierten Lehrlingen bis hin zu einem Rückgang der Zahl an Studenten im technischen Bereich.

### Treiber

- Ausscheiden der Baby-Boomer Generation aus dem Arbeitsmarkt
- Geburtschwache Jahrgänge
- Wertewandel der Generation Y und Z

### Ausprägungen

- Verstärkter Fokus auf Firmeninterne Aus- und Weiterbildungen
- Verbesserung der Corporate Identity
- Fokus auf Mitarbeiterbindung

Fachkräfte-  
mangel

### Chancen

- Mitarbeiterbindung
- Verbesserung der intrinsischen Motivation der Mitarbeiter
- Verbesserung des Wissensmanagement
- Zurückgewinnen von Know-How (Bsp. durch hausinterne Lehrwerkstätten)

### Risiken

- Know-How Verlust
- Überlastung von Mitarbeitern
- Steigerung der Fehlerhäufigkeit
- Gefahr für Leib und Leben durch Mitarbeiter mit fehlender Qualifikation
- Steigende Kosten für Mitarbeiter

Wirtschaftstrend

**Beschreibung**

In den letzten gut 25 Jahren ist der Preis für elektrische Energie und den Netzanschluss für Endverbraucher nicht so stark wie die Inflation gestiegen. Werden die Steuern und Abgaben in die Preisentwicklung einbezogen, zeigt sich ein deutlich größerer Anstieg der Preise. Mit dem zunehmenden Ausbau von erneuerbaren Energien, könnten die Energiekosten weiter fallen. Gebremst wird diese Entwicklung jedoch durch die zunehmenden Kosten für das Netz, vor allem da Kosten für den Redispatch und den zwingend notwendigen Netzausbau anfallen. Aktuelle Entwicklung wie die COVID-19 Pandemie und die „Gaskrise“ führen wiederum zu starken Schwankungen und einem Anstieg der Energiekosten. Dürften aber die Strompreise nicht nur für die Endverbraucher, sondern auch für den Großhandel in Zukunft weiter befeuern. Damit verbunden sind weitreichende Folgen für die Wirtschaft, wie die Zunahme der Inflation und Wirtschaftseinbrüche. Könnte in der Elektrizitätswirtschaft aber auch den Raum für Innovationen und Investitionen besonders in Hinblick auf eine Energieautarke Zukunft schaffen.



**Treiber**

- Zunahme des globalen Primärenergiebedarfs
- COV-19 Pandemie
- Gaskrise
- Starke Abhängigkeit von Drittstaaten
- Steigende Inflation

**Ausprägungen**

- Zunahme des Strompreis um x %
- Stagnation des Strompreises
- Reduktion des Strompreises um x %
- Entwicklung der Preise fossiler Energieträger um x %

**Chancen**

- Treiber für Innovationen
- Ausbau von erneuerbaren Energien
- Stärkung der Energiesouveränität
- Steigerung der lokalen Wertschöpfungskette
- Erhöhung der Versorgungssicherheit

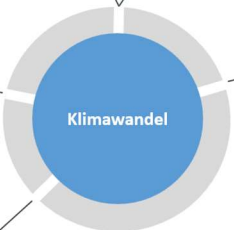
**Risiken**

- Inflation
- Rückgang von Investitionen
- Rezession
- Gefahr für Versorgungssicherheit

Wirtschaftstrend

**Beschreibung**

Die globale Erderwärmung hat zahlreiche Auswirkungen auf die Umwelt wie eine Zunahme an Extremwetterereignissen wie beispielhaft Überflutungen und Stürme, verringerter Niederschlag, einen Anstieg des Meeresspiegels oder ein Temperaturanstieg der Böden. Damit gehen auch unterschiedlichste Auswirkungen auf die Energiewirtschaft und Energieversorgung einher. Unter anderem sind mit diversen Auswirkungen auf die Energieerzeugung und dem Energietransport zu rechnen. Befeuert jedoch auch ein klimaschonendes Handeln (in wirtschaftlicher Hinsicht) und die Entwicklung und den Ausbau grüner Technologien.



**Treiber**

- Global steigender Primärenergiebedarf
- Massiver Ausstoß von Treibhausgasen
- Umweltverschmutzung
- Abholzung von Wäldern
- Zunahme der Weltbevölkerung

**Ausprägungen**

- Zunahme von lokale Extremwetterereignissen (Bsp. Überschwemmungen, Brände, Stürme, etc.) und damit die Häufung lokaler Versorgungsunterbrechungen
- Verringerter Niederschlag und die damit verbundene geringere Stromerzeugung durch Wasserkraft
- Zunahme an Wind- und Sonnenflauten
- Hitzewellen (erhöhte Beanspruchung von Betriebsmittel)
- Austrocknung von Böden (erhöhte Beanspruchung von Kabelstrecken)

**Chancen**

- Dekarbonisierung
- Ausbau erneuerbarer Energien
- Steigerung der Energiesouveränität
- Schaffung von ökologischen Wertschöpfungsketten

**Risiken**

- Zunahme an Versorgungsunterbrechungen
- Zunahme von Schäden an Betriebsmittel durch Extremwetterereignisse
- Steigende Netzgebühren
- Erhöhte Beanspruchung von Betriebsmittel aufgrund rauerer Umweltbedingungen

Umwelttrend

### Beschreibung

Die globale Klimaerwärmung führt dazu, dass die Verwendung fossiler Energien zunehmend in Kritik gerät. Das nationale und internationale Interesse der Politik an der Dekarbonisierung führt zu zahlreichen Gesetzen und Maßnahmen. Erreichen will die Politik die Vorgaben durch den Umstieg von fossile auf regenerative Energiequellen, die Energieeffizienzsteigerung und der CO2 Bepreisung und/oder Besteuerung. Dies führt zur Entwicklung neuer bzw. Verbesserung bestehender Technologien (Erneuerbare Energien, Sektorenkopplung, etc.) sowie wirtschaftliche Perspektiven und neue Geschäftsfelder. Der Trend wird jedoch auch von einem zunehmend volatilen Stromsystem und hohen Kosten begleitet.

### Chancen

- Klimaschutz
- Regionale Wertschöpfung
- Schaffung von Innovationen
- Verbesserung der Lebensqualität
- Nachhaltigeres Wirtschaftssystem

### Risiken

- Steigende Energiekosten
- Gefahr für Versorgungssicherheit bei voreiligen politischen Entscheidungen (Bsp. Kohle- u. Atomausstieg in Deutschland)
- Strompreisschwankungen

### Treiber

- Klimawandel
- Gesellschaftliche Interessen
- Gesundheitssystem
- Protestkultur
- Pariser Klimaschutzabkommen

### Ausprägungen

- Dekarbonisierung des Stromsektors durch Förderung von PV- und Windkraftanlagen
- Förderung neuer Technologien wie Bsp. Atomreaktoren der 4. Generation
- CO2 Bepreisung
- Abschaltung konventioneller fossiler Kraftwerke

Dekarbonisierung

Politiktrend

### Beschreibung

Im Zuge des Liberalisierungsprozesses wurde erstmals die Errichtung einer nationalen Regulierungsbehörde für Strom und Gas vorgeschrieben. In Österreich übernimmt die regulierende Aufgabe die im Jahr 2001 gegründete E-Control. Die Regulierungsmaßnahmen wurden in den vergangenen Jahren vorwiegend von europäischen Richtlinien und Bundesgesetzen vorangetrieben.

Neben den laufenden Regulierungstätigkeiten der E-Control, welche die Prüfung und Genehmigung von allgemeinen Bedingungen für Netzbetreiber, die Festsetzung der Systemnutzungsentgelte, die Zulassung für die Tätigkeiten von Bilanzgruppenverantwortlichen, sowie die Überwachung und Entflächung des Strommarkts beinhalten, trägt die Behörde auch maßgeblich zur Energiewende bei. Im Rahmen des europäischen „Clean Energy Package“ bekommen die Energieregulierungsbehörden zusätzliche umfangreiche Kompetenzen zur Umsetzung der Klimaziele. Neben dem Fokus auf Klimaschutz, wird die Digitalisierung und die damit verbunden IT-Sicherheit zunehmend an Bedeutung gewinnen. Mit der zunehmenden „Regulierungswut“, ist die zukünftige Herausforderung auch das Management der kontinuierlichen Regulierungsänderungen. Das Potential der Regulierung ist vor allem in einer höheren ökonomischen Effizienz, Senkung von Treibhausgasen und einer Steigerung der Versorgungssicherheit zu sehen.

### Chancen

- Regularien können für einen fairen Wettbewerb beitragen.
- Regularien können für die Implementierung neuer Technologien aber auch Geschäftsmodelle unterstützen.
- Strengere Vorgabe (z.B. Monitoring Gesetze, TOR-Lasten und Erzeuger in Hinblick auf die Nutzung von Systemdienstleistungen) können zur Erhöhung der Spannungsqualität führen
- Effizienzsteigerung
- Entwicklung grüner Technologien

### Treiber

- Steigerung der Wirtschaftlichkeit
- Liberalisierung
- Zunehmende Komplexität
- Neue Geschäftsmodelle
- Neue Kundentypen
- Zunahme erneuerbarer Energieerzeuger
- Dezentralisierung

### Ausprägungen

- Strengere Vorgaben für den Netzzugang
- Systemdienstleistungen müssen kundenseitig kostenlos erbracht werden
- Deregulierung des Netzzugangs
- Reduktion der Kosten für den Netzzugang
- Systemdienstleistungen müssen durch den Netzbetreiber vergütet werden

Zunahme an Regularien

### Risiken

- Regularien in Hinblick auf freien Wettbewerb und der Liberalisierung müssen mit den physikalischen Möglichkeiten übereinstimmen
- Mehr Wettbewerb und neue Geschäftsmodelle wie Vermarktung von Sytemdienstleistungen können das System teurer machen
- Zunahme an Umweltauflagen
- Förderung falscher Technologien oder Maßnahmen

Politiktrend



### Beschreibung

In den letzten Jahren wurden umfangreiche Energieeffizienzmaßnahmen wie das Energieeffizienzgesetz, das Energielieferanten und Großunternehmen zu Einsparmaßnahmen bewegt getroffen. Daneben gibt es weitere nationale und europäische Maßnahmen in Form von Verordnungen aber auch Investitionen zur Verbesserung der Energieeffizienz in den Bereichen Haushalt (z.B. Energieeffizienzklasse Haushaltsgeräte, Gebäudesanierungen, Heizungssysteme), Gewerbe (z.B. Kühlergeräte, Bürogeräte, Beleuchtung), Verkehr (z.B. effizientere PKW, Elektroautos) und Industrie (z.B. effizientere Industrieanlagen, Elektromotoren). Die Energieversorger selbst sind durch Verordnungen zum Einsatz effizienterer Erzeugungsanlagen oder Transformatoren gezwungen. Dieser Trend führt zu einer nicht vernachlässigbaren Verringerung des Strombedarf, jedoch auch zu steigenden Preisen der Produkte.

### Treiber

- Dekarbonisierung
- Klimawandel
- Steigender Strombedarf
- Interessen der europäischen Wirtschaft (technologischer Vorsprung)
- Schutz der europäischen Wirtschaft (vor Konkurrenz aus Drittstaaten)

### Ausprägungen

- Zunahme der Energieeffizienzmaßnahmen
- Jährliche Vorgaben zur Effizienzsteigerung um x %
- Ausscheiden bestehender Technologien

Energieeffizienz

### Chancen

- Reduktion des Strombedarfs
- Schaffung von Netzkapazitäten
- Reduktion des Bedarfs neuer Kraftwerke
- Neue Investitionen
- Kostenreduktion

### Risiken

- Gesetzliche Effizienzmaßnahmen erhöhen die Gesamtkosten
- Die Energieeffizienz von Anlagen mit einem hohen Wirkungsgrad kann nur durch einen überhöhten Ressourceneinsatz verbessert werden (Bsp. ÖKO-Design 2 Trafos)

Politiktrend

## **ANHANG 6: QUALITATIVE ERHEBUNG - TECHNOLOGIEN**

### **Monitoring**

Das Monitoring des gesamten Verteilnetzes wird in Zukunft unverlässlich sein und bildet die Grundlage für viele Technologie wie Echtzeitnetzsimulationen. Dazu müssen nicht nur neue Messgeräte verbaut werden erklärt **EX02**, sondern es können auch Smart-Meter herangezogen werden.

#### **Spannungsqualitätsmonitoring**

Für **EXP02** wird ein flächendeckendes Monitoring der Spannungsqualität in Zukunft unumgänglich sein. Die Messungen müssen darüber hinaus aber auch genauer werden (über die EN50160), und auch Effekte von sehr hohen Frequenzen (z.B. 150kHz) untersuchen.

#### **Meter-Data-Management**

Smartmeter Daten sind sehr wichtig um den realen Verbrauch im Netz zu erfassen. Diese Daten können genutzt werden um beispielsweise bessere Prognosen für das Netz aber auch für Energiebereitstellung durchführen zu können, erklärt **EXP11**. In Zukunft könnte man vermehrt Netzdaten, gerade aus Smart Meter nutzen, so **EXP08**. Damit lassen sich z.B. die Lasten der Trafos bestimmen, um daraus Rückschlüsse zu ziehen. So kann beispielsweise der Trafo frühzeitig gegen ein leistungsstärkeres Modell getauscht werden.

### **Netzführung**

#### **SCADA**

Das Hochspannung- u. Mittelspannungsnetz von **EXP08** ist bis zur letzten Trafostation im SCADA System abgebildet. Der Fernzugriff ist auf der Mittelspannung in den Umspannwerken und einer Vielzahl von Unterstationen möglich. Die Niederspannung ist noch nicht abgebildet, es gibt diesbezüglich aber bereits Überlegungen.

#### **Digital Twin**

**EXP02** weiß aus eigener Erfahrung, dass die Implementierung eines digitalen Zwillings des gesamten Versorgungsgebietes bereits von einigen Netzbetreibern durchgeführt wurde, jedoch sehr viel Zeit und Arbeit benötigt. Dafür benötigt es hohe Rechenleistung und eine einheitliche Datenbasis.

#### **DNA (Dezentrales Netzautomatisierungssystem)**

Diese Sekundärtechnik ermittelt den aktuellen Netzzustand und kann diesen mittels Regeleinrichtungen beeinflussen. Dafür ist die Kommunikationsinfrastruktur mit Sensoren und Aktoren wesentlich.

#### **Leitsystem mit KI unterstützten Handlungsempfehlungen**

**EXP10** sieht ein hohes Potential im „Ausbau der Leittechnischen Systeme bis zu Systemen mit KI und Prognosen hinterlegten Handlungsempfehlungen“.

### **Selbstgesteuerter Eingriff in die Netzführung mittels KI berechneten Prognosen und Erfolgsszenarien**

Weiterführend zur zuvor beschriebenen Technologie, könnte die KI auf Basis von Prognosen und Erfolgsszenarien selbstgesteuert eingreifen, schreibt **EXP10**.

### **Ferngesteuerte Anlagen**

Durch den Einsatz ferngesteuerter Anlagen kann gerade in ländlichen und ausgedehnten Netzen die Dauer von Unterbrechungen verkürzt werden erklärt **EXP08**. Der Fernzugriff über SCADA ist mittlerweile an vielen Trafostationen möglich. Aktuell wird das Ziel verfolgt, Schwachpunkte im Netz über Fernzugriff einzubinden.

### **Intelligente Ortsnetzstationen**

Diese Technologie ist für **EXP03** eine wichtige Technologie als Steuerungs- / Regelungs- und Überwachungslösung. **EXP09** erwartet sich, dass diese Technologie in Zukunft vermehrt eingesetzt wird. Vor allem ist die Datenerfassung wichtig, aber auch zum Ausregeln und Begrenzen von Spannungsschwankungen.

## **Gleichgewicht**

### **Erzeugungskapazitäten**

**EXP01** erläutert, dass Kraftwerke und insbesondere Ihre Eigenschaft zur Erbringung von negativer, als auch positiver (ausgenommen Erneuerbare Erzeuger) die wichtigste Technologie zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit ist. Auch für **EXP11** sind konventionelle Kraftwerke und vor allem das Startbarhalten von Gaskraftwerken, welche sehr schnell abgerufen werden können, entscheidend für die Versorgungssicherheit. Diese sind wichtige Backup Lösungen, um auf die sich ändernden Erzeugungsstrukturen und der damit verbundenen Ausfälle von Erzeugern zu reagieren. Außerdem schaffen diese klassischen Erzeuger Stabilität und Verbessern die Frequenzhaltung.

### **Virtuelle Kraftwerke**

Der Verbund von mehreren Kraftwerken zu virtuellen Kraftwerken erlaubt es auch dem Unternehmen von **EXP01** aktiv am Regenergiemarkt zu partizipieren.

### **Schwarzstartfähige Kraftwerke**

Laut **EXP03** hat Österreich bereits sehr viele Schwarzstartfähige Kraftwerke in Betrieb und sind laut **EXP06** unerlässlich, um das Netz nach einem Stromausfall wieder aufzubauen.

### **Inselfähige PV-Umrichter**

Die meisten PV-Umrichter sind laut **EXP03** Grid-Following-Umrichter und benötigen Spannung und ein Netz um zu funktionieren. Mit inselfähigen PV-Umrichter welche Grid-Forming-Umrichter sind und daher das Netz Formen, können zumindest einzelne Gebäude bei einem Stromausfall versorgen. Weiters kann mit dieser Technologie kleine Strominseln aus mehreren Haushalten aufgebaut werden. Inwiefern dieser zum Netzwiederaufbau beitragen ist fraglich.

### **Hybridparks**

**EXP04** nennt als Möglichkeit um Netzkapazitäten besser zu nutzen die Kombination von Wind- und PV-Anlagen. Dabei nennt er beispielhaft Anlagen im Burgenland, bei denen explizit PV-Kollektoren auf Windkraftanlagen montiert werden. Da entweder gute Wind- oder Sonnenverhältnisse vorherrschen, gibt es laut einigen Stunden nur eine geringe Überlappung, die bei unter 5% liegt. So lässt sich Netzanschlüsse optimieren.

### **Systemdienstleistung Frequenz**

#### **Virtuelle Schwungmasse**

Umrichter können eine sogenannte virtuelle Schwungmasse erzeugen und damit zur Stützung der Netzfrequenz beitragen. Das funktioniert durch die Energiespeicherung im Zwischenkreis der Umrichter erklärt **EXP04**.

### **Speicher**

**EXP01** erklärt das Energiespeicher enorm wichtig für die Versorgungssicherheit sind. Vor allem große Speicher (Pumpspeicher) aber auch kleine Energiespeicher von Haushalten die noch in den Kinderschuhen stecken. **EXP09** erwartet sich, dass in Zukunft Energiespeicher zur Überbrückung von Spitzenlasten und Spitzenerzeugung wichtiger werden. In der Steiermark können noch vereinzelt kleine Speicherkraftwerke gebaut werden. Der restliche Bedarf wird durch statische Speicher wie Batteriespeicher gedeckt. Daneben eignen sich Batterien im Netz, die nicht so kompakt, dafür umweltfreundlich, günstig und für große Mengen ausgelegt sein müssen. Batterien egal welche Type haben immer ein Risiko, da die Energiedichte dort sehr hoch ist. Daher ist Sicherheit in Form von physikalischer, elektrotechnischer und Datensicherheit in Zukunft enorm wichtig.

#### **Pumpspeicherkraftwerke**

Pumpspeicherkraftwerke ist eine der wichtigsten Speichertechnologien so **EXP01**, **EXP03**, **EXP04** und **EXP05** State oft he Art und werden in Zukunft immer noch wichtig bleiben. Diese Technologie eignet sich laut **EXP07** sowohl als Mittelfristspeicher, aber kann auch als saisonaler Speicher („Speicherung von Stromüberschuss im Sommer und Entladung im Winter“) genutzt werden. Dafür benötigt es laut **EXP04** Leistungen im Bereich von 10 bis 20TWh, aktuelle beträgt die Kapazität jedoch nur 3 TWh.

#### **Konventionelle Batteriespeicher**

Batteriespeicher stecken nach **EXP01** noch in den Kinderschuhen. Das Problem ist laut **EXP07**, dass Speicher wie Lithium-Ionen oder Nickel-Cadmium stark begrenzte Kapazitäten haben und sich nur als Kurzzeitspeicher eignen. Eingesetzt können sie im Hoch- und Höchstspannungsnetz aber auch bei Endverbraucher werden. Die Kurzzeitspeicherung kann sehr viele Flexibilitäten schaffen, erklärt **EXP06**.

#### **Batteriespeicher auf Basis ökologischer Rohstoffe**

**EXP07** zählt Batteriespeicher auf Basis ökologischer Rohstoffe unter die innovative Technologie mit Potential auf.

### **Schwungradspeicher**

Für **EXP03** ist der Schwungradspeicher eine geeignete Möglichkeit, um die Leistungsaufnahme von Ladesäulen zu glätten.

### **Gravitationsspeicher**

**EXP09** erhofft sich, dass die innovative Technologie der Gravitationsspeicher Fuß fassen wird. Dabei werden mittels Kran Betonblöcke auf ein höheres Potential gehoben und so Energie in Form von mechanischer bzw. Potentieller Energie gespeichert.

### **Supraleitende magnetische Energiespeicher (SMES)**

Damit die Technologie der supraleitenden magnetischen Energiespeicher Marktreife erlangt, muss noch die Supraleiter-Technologie verbessert werden, erklärt **EXP09**. Diese müssen auch bei höheren Temperaturen ihre besonderen Eigenschaften behalten.

## **Prognosen**

### **Wettervorhersagen zur Planung des Kraftwerkseinsatz**

Durch die Verknüpfung von Wettervorhersagen und dem Stromhandel kann laut **EXP06** der Kraftwerkseinsatz besser geplant werden. Dazu können BIG Data und KI-Anwendungen in Zukunft vermehrt eingesetzt werden.

### **BIG Data zur Erstellung von Einspeise- und Lastszenarien**

Aktuell werden BIG Data Anwendungen erforscht, mit denen Einspeise- und Lastszenarien ermittelt werden können, erklärt **EXP08**. So sollen in Zukunft Engpässe ermittelt werden. Auf diese kann dann frühzeitig mit Netzausbauten oder anderen Maßnahmen reagiert werden.

## **Sektorkopplung**

Technologien zur Sektorkopplung sind gut aber am Markt unterrepräsentativ, um aktuell einen wesentlichen Beitrag zur Versorgungssicherheit zu leisten, erklärt **EXP01**.

### **Vehicle-to-Grid**

Technisch ist das Rückspeisen von Strom aus E-Auto Batterien kein Problem, wobei die dafür benötigten Ladestationen noch sehr rar sind, so **EXP03**. Diese Technologie muss mit einem intelligenten Energiemanagement System kombiniert werden erläutert **EXP06**, damit vor allem bei Stromüberschuss durch PV-Anlagen das Auto geladen wird.

### **Power-to-Heat mittels Wärmepumpe**

Diese Technologie ist laut einigen Experten und Expertinnen (**EXP01, EXP03, EXP05**) bereits sehr etabliert und bieten noch viel Potential. Wärmepumpen besonders in Kombination mit einem thermischen Speicher haben laut **EXP05** ein hohes Potential zur Flexibilisierung der Stromaufnahme im Haushaltsbereich.

### **Power-to-Heat mittels KWK-Anlagen**

Überschüssigen Strom in Wärme umzuwandeln und diesen dann in das Fernwärmenetz einzuspeisen, hält **EXP01** in Ballungszentren für eine zukunftssträchtige Technologie zur Verbesserung der Versorgungssicherheit. Darüber hinaus sind diese Anlagen sehr gut regelbar, so **EXP05**.

### **Power-to-H2**

Die regenerativen Strom in Wasserstoff ist für **EXP01** eine interessante neue Technologie. **EXP04** erwähnt auch, dass für die Übertragung und Speicherung Gaspipelines verwendet werden können, welche sehr hohe Transportkapazitäten und Speichervolumina aufweisen. **EXP07** beschreibt, dass Wasserstoff als synthetischer Energieträger wieder verstromt werden kann, z.B. durch Zumischung im thermischen Kraftwerksbereich.

### **Power-to-Syngas**

Aus Strom synthetische Gase herzustellen, wird sich für industrielle Anwendungen, die sehr viel Energie benötigen in den nächsten Jahren stark weiterentwickeln. Der Vorteil ist bei dieser Technologie, dass die Gase im Vergleich zu Wasserstoff leichter zu speichern und eine höhere Energiedichte haben. Darüber hinaus enthalten Sie Kohlenstoff, was ein wichtiges chemisches Element für Industrieprozesse ist.

### **Power-to-Fuel**

Die Herstellung von synthetischen Kraftstoffen bietet für **EXP05** viel Potential, ist aber technologisch noch nicht so weit wie Wasserstoff. Die Umwandlung von überschüssigem Strom zu Methanol kann den Stromverbrauch glätten, da es wieder verstromt werden kann. Vorteil ist, dass keine Infrastruktur benötigt wird und Kraftstoff ein guter Langzeitspeicher ist, erläutert **EXP07**.

## **10.1.1.1.1 Transport**

### **Netzkapazitäten**

Zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit müssen bestehende Lücken im Netz geschlossen werden, erklärt **EXP01**. Neben dem Netzausbau wird es laut **EXP02** in Zukunft wichtig werden freie Netzkapazitäten durch geeignete Technologien sowie flächendeckendes Monitoring sichtbar zu machen.

### **Echtzeit Netzsimulationen**

Mit Hilfe von Netzsimulationen in Kombination mit Monitoring, können entsprechend **EXP02** freie Kapazitäten sichtbar gemacht werden. Dafür bedarf es aber auch genügend Rechenleistung, da viele Netzknoten auch eine wahnsinnig lange Rechendauer zur Folge haben. Außerdem wird ein Digital-Twin des Netzes benötigt.

### **Rechenunterstützte Optimierung des Wirkungsgrads von Verteilnetzen**

**EXP09** erläutert, dass es neue Rechenkonzepte benötigt, um den Wirkungsgrad von Netzen optimal anzupassen. So lassen sich durch den Einsatz von Kraftwerken oder durch Blindleistungskompensation / Blindleistungsanpassung die Leitungskapazitäten optimal ausnutzen.

### **Energiemanagementsystem zur Optimierung von Erzeugern, Lasten und Speicher**

Durch den Einsatz von digitalen Systemen zur Schaffung von Flexibilitäten (Energiemanagementsystemen) wie z.B. das Laden von E-Autos wenn Strom produziert wird, kann die Versorgungssicherheit erhöht werden, erklärt **EXP06**. So könnten theoretisch auch Netzkapazitäten freigehalten werden, stimmt **EXP01** zu.

### **Leitungen**

#### **Kabel**

Kabelsysteme können nach **EXP08** maßgeblich zur Versorgungssicherheit beitragen, da Kabel viel unempfindlicher gegenüber der Umwelt sind und unempfindlich gegenüber Extremwetterereignisse sind. Nachteil ist, dass ausgedehnte Kabelnetze Blindleistungsprobleme verursachen können und die Löschgrenze reduzieren.

#### **Freileitungen**

Laut **EXP06** sind Freileitungen teilweise Vorteile gegenüber Kabelsysteme, da sie günstiger sind und Kabelsysteme gerade in Feuchtgebieten schlecht für die Böden sind.

#### **Supraleitende Kabel**

Diese Technologie ist für den **EXP01** nicht finanzierbar und noch nicht ausgereift.

#### **Gasisolierte Leitungen**

**EXP11** betont, dass sich Gasisolierte Leitungen für Spezialanwendungen wie Kavernenausleitungen oder Kurzkupplungen eignen die eigenen Anforderungen hinsichtlich der Brandlast, Versorgungssicherheit oder große Ströme haben, wird sich aber nicht für die Übertragung auf großer Distanz eignen und besonders nicht im Verteilnetz.

#### **MVDC-Übertragung**

Wie sich die bereits etablierte Technologie der weitläufigen Übertragung mittels Gleichspannung im kleinere Verteilnetz (MVDC) entwickelt ist abzuwarten, wobei für **EXP03** das Potential gegeben ist. Auch **EXP04** sieht Potential in der DC Übertragung im Mittelspannungsnetz. Auch **EXP11** sieht darin ein enormes Potential, vor allem da bestehenden Kabel verwendet werden können, diese jedoch mit Gleichspannung Verlustärmer und mit einer höheren Übertragungsleistung betrieben werden könnten.

#### **DC/DC-Kopplung**

DC/DC-Kopplungen sind entsprechend **EXP02** schon in Skandinavien im Einsatz und können auf der Niederspannung dazu genutzt werden, längere Strecken, welche heute mit 950VAC betrieben werden zu betreiben. Die Technologien eignet sich aufgrund Ihrer Umrichtertechnologie auch für „Grid Forming“ Funktionalitäten.

#### **Flexible Drehstromübertragungssysteme (FACTS)**

FACTS werden laut **EXP02** in Zukunft nicht an Relevanz gewinnen, da man die gleichen Funktionalitäten in den Leistungselektronischen Komponenten selbst einrichten kann. **EXP11** sieht die Leistungselektronik als sehr wichtige Technologie um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten,

wobei er explizit FACTS nennt, mit denen nicht nur Wirk- und Blindleistung eingespeist, sondern auch der Lastfluss gesteuert werden kann. Auch in der Mittelspannung könnten FACTS wichtiger werden so **EXP11**, da die Spannungen leicht beherrschbar sind und die Auslastung der Netze relativ hoch ist.

### **Systemdienstleistung Spannung (Netz)**

#### **Regeltransformatoren**

Im Unternehmen von **EXP01** werden diese Transformatoren noch nicht eingesetzt, da diese nur bei langen Netzausläufern mit volatiler Einspeisung, bei denen das Spannungsband (Toleranzband) überschritten wird benötigt werden. Regeltransformatoren werden wichtiger, um die Auswirkung von der Erzeugung auf der Niederspannung im Mittelspannungsnetz auszuregulieren und zu begrenzen, erklärt **EXP09**.

#### **Strangregler**

Strangregler (Voltage-Regulators) können laut **EXP02** bei langen Netzausläufern eingesetzt werden, im großen Stil wird die Technologie jedoch nicht verbaut werden. **EXP10** erwähnt explizit den Einsatz von Strangregler auf der Mittel- und Niederspannungsebene als innovative Technologie zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit.

### **Systemdienstleistung Spannung (Erzeugerseitig)**

#### **Regelenergie von konventionellen Kraftwerken**

Für **EXP01**, **EXP03**, **EXP05** stellt die Regelenergie eines der Hauptaugenmerke der Versorgungssicherheit dar. Problem ist, dass erneuerbare Energien nur negative Regelenergie liefern können. Daher sind konventionelle Kraftwerke (vor allem Gaskraftwerke) wichtig, da diese auch positive Regelenergie liefern können. Entsprechend **EXP05** sollte versucht werden, sich auf leichte Regel und Steuerbare Prozesse welche konventionelle Kraftwerke bieten zu konzentrieren. Besonders ist der Einsatz von konventionellen Kraftwerken für Redispatchmaßnahmen unerlässlich erklärt **EXP06**.

#### **Negative Regelenergie von PV- oder Windkraftanlagen**

Mit Hilfe der Steuerung der Wechselrichter, kann die Erzeugungsleistung von PV-Anlagen entsprechend **EXP02** reduziert werden. **EXP01** und **EXP05** sieht bei dieser Technologie den Nachteil, dass nur in eine Richtung geregelt werden kann. Das Unternehmen von **EXP01** nutzt diese Technologie auch aktiv. **EXP10** erörtert, dass ohne den Leittechnischen Einsatz einer P(U)-, Q(U)-Regelung der Zuwachs an dezentralen Einspeisern nicht mehr beherrschbar wird.

#### **Gridforming mittels Umrichter**

Die Wechselrichter von Erzeugern (wie PV oder Wind) können laut **EXP02** in Zukunft in den unteren Spannungsebenen genutzt werden um „Grid Forming“ Funktionalitäten zu erfüllen.

#### **Fault Ride Through**

Die Nutzung von Umrichtern von Erzeugungsanlagen ist sehr praktikabel, so kann z.B. das Fault Ride Through nur Versorgungssicherheit beitragen erklärt **EXP08**.



### **Blindleistungsregelung mittels Umrichter**

**EXP08** findet, dass Blindleistungsregelung mit Umrichter immer wichtiger wird, da auch die Ausdehnung von Kabelnetzen zunimmt und der Blindleistungsbedarf im Verteilnetz steigt.

### **Systemdienstleistung Spannung (Verbraucher)**

Mit dem Netzentgelt 2.0 von der E-Control wird versucht, die Leistungskomponenten und damit mögliche kundenseitige Leistungen Tariflich abzubilden, so **EXP01**. Laut **EXP08**, werden in Zukunft nicht nur große Erzeuger zur Netzstützung und Stabilisierung eingesetzt. Daneben werden Erzeuger, aber auch Verbraucher auf allen Netzebenen eingesetzt werden.

### **Demand Side Management**

Die Technologie zur Lastreduktion auf der Verbraucherseite steht noch in den Kinderschuhen. Vor allem da Sie laut **EXP01** noch nicht lukrativ ist. Es fehlt auch an zusätzlichen Technologien wie die Smarte Netze und Regeleinrichtungen erläutert **EXP04** und **EXP06**, kann aber mehr Flexibilität schaffen.

Zu Schaffung von negativer Regelennergie können Wärmepumpen eingesetzt werden. Diese Technologie ist in Dänemark bereits in Verwendung, so **EXP05**.

### **Lastmanagement mittels Rundsteuersignalen**

Mit Hilfe der Steuerung von E-Ladestationen kann das Stromnetz gestützt werden. Dafür fehlt es an geeigneten Regularien, so **EXP02**. **EXP03** schlägt vor, mit Hilfe von Rundsteuersignalen das Lademanagement zentrale zu steuern um z.B. die Ladeleistung auf die Hälfte zu reduzieren oder ganz abzuschalten. Als Grundlage braucht es zudem die Integration der Niederspannung in das SCADA System.

## **Systemsicherheit**

### **Netzform (Sternpunktbehandlung)**

#### **Löschung**

Die Löschung wird laut **EXP08** noch Jahrzehnte im Einsatz sein, da sie sich bewährt hat. Jedoch müssen die Löschbezirke in Zukunft kleiner werden und auch dezentralisiert werden, um den hohen Erdschlussströmen Herr zu werden. Kompensierte Netze sind sehr gut für die Versorgungssicherheit, so **EXP09**. Denn die Löschung ermöglicht den weiterbetrieb der Netze im Fehlerfall. Außerdem sind die Fehlerströme sehr gering. Jedoch sollte man Maßnahmen setzen, um Fehler schneller und gezielter abschalten zu können. Z.B. mit geeigneten Messeinrichtungen, um die Erdschlüsse klarer anzuzeigen zu können.

#### **Dezentrale Löschung**

Mit steigenden Erdschlussströmen geraten die zentralen Löschspulen von EVUs an Ihre Grenzen. Durch die Implementierung von dezentralen Löschspulen kann der durch die zentralen Löscheinheiten zu kompensierende Strom reduziert werden und wird wieder beherrschbar, erklärt **EXP08**.

### **Niederohmige Sternpunktterdung**

Der Umstieg von Löschung auf eine niederohmige Sternpunktterdung ist in Diskussion, jedoch aktuell nicht geplant, erklärt **EXP08**. Eine niederohmige Sternpunktterdung ist nur für reine Kabelnetze interessant, wie z.B. in Städten. Entsprechende Netze mit niederohmiger Sternpunktterdung gibt es laut ihm in der Steiermark bereits. **EXP09** sieht den Vorteil dieser Technologie vor allem darin, dass es zu keiner Spannungsanhebung kommt. Jedoch kommt es zu hohen Fehlerströmen die unverzüglich abgeschaltet werden müssen.

### **Schutz**

Die Schutztechnik kann dazu genutzt werden Fehler schnell und selektiv abzuschalten, so **EXP08**. **EXP11** sieht in der Schutztechnik zwei Herausforderungen. Einerseits dass die Lastflüsse komplexer werden und Verbraucher gleichzeitig als Erzeuger fungieren können. Daher kann sich die Lastflussrichtung ändern. Andererseits werden aufgrund des zunehmenden Oberschwingungsgehalt die Kurvenformen komplexer und verzerrter. Dies muss vor allem bei der Fehlerortung berücksichtigt werden.

### **Diagnostik und Online-Monitoring von Betriebsmitteln**

**EXP08** erzählt, dass Monitoring von Betriebsmitteln vor gut 20 Jahren sehr modern wurde und aktuell wieder in Mode kommt. Ausgangspunkt ist vor allem die Industrie, die Monitoringsysteme vorantreiben. Das eigene Unternehmen versucht die Thematik auch verstärkt zu forcieren. Es stellt sich jedoch die Frage, wo die neuen Erkenntnisse im Vergleich zu den letzten Jahrzehnten liegen sollten. „Es wäre schön, wenn man viel mehr über den Zustand der einzelnen Betriebsmittel wüsste, aber das ist mit ungeheurem Aufwand verbunden.“ **EXP11** beschreibt die ganze Palette an Diagnostikmethoden, angefangen von der Öl-Analyse, Teilentladungsmessung, die Verlustfaktormessung sowie das Condition-Monitoring von Betriebsmitteln als relevant. Gerade Online-Monitoring wird durch die Digitalisierung und den sinkenden Preisen der Systeme immer stärkeren Einzug finden. Aktuell geht laut **EXP11** der Trend in die Richtung zerstörungsfreie fein Diagnostik, bei der die einzelnen Komponenten des Betriebsmittel diagnostiziert werden.

#### **Chemische Diagnostik von Isolierölen (Gas in Öl Analyse)**

Die regelmäßige Öl-Analyse von Großtransformatoren wird in regelmäßigen Abständen durchgeführt. So lassen sich Trendkurven ermitteln und der Zustand des Trafos bewerten erklärt **EXP08**. Bei Verteiltransformatoren steht jedoch der Aufwand nicht dafür, da diese meist nicht stark ausgelastet werden.

#### **Dielektrische Diagnostik von Durchführungen**

Die regelmäßige Überprüfung der Durchführungen von Großtransformatoren wird in regelmäßigen Abständen bei Großtransformatoren durchgeführt. So lassen sich Trendkurven ermitteln und der Zustand des Trafos bewerten erklärt **EXP08**.

#### **Kabelprüfung (Isolation und VLF)**

Die Kabelprüfungen werden bei der Inbetriebnahme einer Strecke durchgeführt. Die Prüfungen könnten alle paar Jahre durchgeführt werden, dazu müssten die Strecken jedoch freigeschalten werden, so **EXP08**. Dies geht zwar im vermaschten Netz, bei Stichen jedoch nicht und ist generell sehr aufwändig.

### **TE-Diagnostik mittels Rogowski-Spule**

Die konventionelle Teilentladungsmessung fällt für Mittelspannungskabel weg. Ein neuartiges Konzept ist der Einsatz von Rogowski-Spulen, mit denen sich beispielsweise Teilentladungen an Kabelgarnituren ermitteln, erklärt **EXP11**.

### **Frequency Domain Spectroscopy (FDS)**

Bei der FDS Diagnostik wird versucht aus der Frequenzantwort heraus Rückschlüsse über den Zustand des Betriebsmittels zu ziehen. Diese Messung funktioniert gerade bei Transformatoren (Durchführungen, Isolier-Öl) recht gut und ist sicher eine zukunftssträchtige Diagnostik Maßnahmen, da die Spannungsbelastung gering ist, erläutert **EXP11**.

### **GIS Daten zu Ermittlung des Trassenbewuchs**

Aktuell werden im Unternehmen von **EXP08** untersucht, ob sich mit Hilfe von GIS (Geo Informations System) Daten des Bewuchses von Freileitungstrassen erheben lässt. Dabei wird der Zuwachs links und rechts der Leitungen mit Algorithmen herausgerechnet. Die Leitungen müssen nicht mehr begangen werden und es kann frühzeitig ein Ausäst-Auftrag vergeben werden.

### **Diagnostik von Freileitungen mittels Drohnen**

**EXP08** erklärt, dass aktuell die Anwendung von Drohnen zur Diagnostik von Freileitungen (110kV) untersucht werden. Diese sind mit Thermosensoren und hochauflösenden Kameras ausgestattet und können Fehler an den Leiter erkennen. So können z.B. thermische Überbeanspruchungen von Klemmen ermittelt werden. Aktuell müssen zumindest noch Hochspannungsleitungen (110kV) aufgrund eines Bescheids jährlich begangen werden.

### **Condition Monitoring von Freileitungen**

Bei der Freileitung gibt es wenige degradierende Faktoren, sondern es ist vor allem die Auslastung der Leitung ein Knackpunkt. Durch die Messung des Betriebsstrom, der Durchhang und der Umgebungsbedingungen wie Temperatur und Wind lässt sich die zulässige Stromerhöhung der Leitung bestimmen, erklärt **EXP11**.

### **Thermisches online Monitoring von Kabelstrecken im Mittelspannungsnetz**

Mit der Kabelstrecke kann auch ein LWL mitverlegt werden, um die Temperatur zu messen und eventuelle Schwachstellen zu ermitteln. Laut **EXP08** der Einsatz dieser Technologie nur bei relevanten Kabelstrecken Sinn und wird aktuell auch nur bei 110kV Kabelstrecken eingesetzt.

### **IoT-Asset Management**

Betriebsmittel der Zukunft sind im Internet of Things (IoT) zunehmend vernetzt und liefern über Sensorik und Messsysteme deutlich mehr Informationen und Daten. Vor allem da die Monitoring System, wie die Gas-in-Öl-Analyse erschwinglicher geworden sind, erklärt **EXP11**.

### **Expertensysteme**

Mit Hilfe von maschinellem Lernen erfolgt in Zukunft die Auswertung von Messdaten der Betriebsmittel automatisiert, vor allem wenn diese mit dem Internet verbunden sind. So lassen sich gefährliche Trends

identifizieren und mögliche Defekte der Betriebsmittel rechtzeitig verhindern, erörtert **EXP11**. Jedoch werden diese Systeme die menschliche Expertise in naher Zukunft nicht ersetzen können, können aber in Form von z.B. Ampelsystemen oder zur Lieferung von Indikatoren realisiert werden.

## **ANHANG 7: TECHNOLOGIE-GLOSSAR**

### **BETRIEBSFÜHRUNG**

#### **SCADA-System für das Mittelspannungsnetz**

Das sogenannte „Supervisory Control and Data Acquisition“ kurz SCADA ist ein System zur Überwachung und Steuerung von technischen Prozessen. Dieses wird bei Energieversorgern bzw. Netzbetreibern meist in Form einer zentralen Netzleitstelle realisiert, in der diverse Daten (Messwerte, Schaltzustände, etc.) hinterlegt sind. Weiters kann über diese Systeme der Fernzugriff realisiert werden.

#### **SCADA-System für das Niederspannungsnetz**

Das zuvor beschriebene SCADA-System kann auch für das Niederspannungsnetz genutzt werden, wobei der Kosten-Nutzen Aufwand abzuwiegen ist.

#### **Digital Twin**

Die Konstruktion eines digitalen Zwillings des Stromnetzes bietet unzählige Möglichkeiten. Es kann z.B. dazu genutzt werden statische oder dynamische Netzsimulationen durchzuführen oder ganz allgemein die betrieblichen Abläufe optimieren.

#### **Fernwirkbare Anlagen**

Durch elektrische Anlagen, welche über einen Fernzugriff verfügen, kann die Betriebsführung deutlich erleichtert werden. In Kombination mit SCADA-Systemen lassen sich so Schalthandlungen aus der Ferne durchführen.

#### **Intelligente Ortsnetzstationen**

Diese speziellen Trafostationen erfüllen eine Reihe von unterschiedlichsten Funktionalitäten, sind aber im Wesentlichen dadurch gekennzeichnet, dass Sie mit Kommunikations- und Messeinrichtungen ausgestattet sind. Darüber hinaus können diese Stationen mit fernwirkbaren Anlagen, Regelbaren Trafos, Energiemonitoring-Systeme oder elektronischen Zähler ausgestattet sein.

#### **Leitsystem mit KI unterstützen Handlungsempfehlungen**

Durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz in den Leitsystemen, wird die Netzführung vereinfacht. Die künstliche Intelligenz analysiert den aktuellen Schaltzustand und liefert Verbesserungsvorschläge, um die Versorgungssicherheit zu erhöhen oder um die bestehenden Netzkapazitäten besser auszunutzen zu können. Im Störfall analysiert das System in Echtzeit die Meldungen und gibt Handlungsempfehlungen um den Fehler umgehend zu beheben.

#### **Selbstgesteuerter Eingriff in die Netzführung mittels KI berechneten Prognosen und Erfolgsszenarien**

Das Hoch- und Höchstspannungsnetz ist bereits stark automatisiert. Dieser hohe Automatisierungsgrad wird auch vermehrt Einzug in Verteilnetze finden. Als weiteren Automatisierungsschritt wird die Technologie der „KI unterstützen Handlungsempfehlungen“ gerade im Fall von Störungen vermehrt in die Betriebsführung eingreifen, um komplexe und langwierige Schalthandlungen binnen Sekunden abzuarbeiten.

## **MONITORING**

### **Energie-Monitoring**

Dabei werden die Energiedaten (U, I, P, Q) mit entsprechenden Messeinrichtungen (Strom-, Spannungswandler, Sensoren) erfasst und durch geeignete Messgeräte ausgewertet. Zudem können weitere Messgrößen wie der Leistungsfaktor erfasst werden.

### **Spannungsqualitäts-Monitoring**

Dabei werden die wesentlichen Spannungsqualitätsparameter wie die Netzfrequenz, Unsymmetrien, Oberschwingungen und/oder die Spannungshöhe gemessen.

### **Versorgungsqualitäts-Monitoring**

Auswertung der Ausfallstatistiken zur Erfassung der Versorgungsqualität.

### **Wide-Area-Monitoring**

Durch die Satellitengestützte Echtzeitmessung lassen sich Messpunkte die räumlich weit entfernt abgleichen. So lassen sich besonders Informationen über den Phasenwinkel und der Stabilität im Stromnetz generieren und dient vor allem als Frühwarnsystem.

### **Meter Data Management**

Um die Flut an Daten, welche durch die Smart-Meter anfallen zu verwalten, aber auch zu speichern, werden Meter Data Management Systeme eingesetzt.

### **Energie-Monitoring mittels Smart Meter**

Mit der Bereitstellung von Smart Meter Daten lassen sich Parameter wie Strom, Spannung, Wirk- und Blindleistung, sowie der Leistungsfaktor oder sogar Lastflüsse ermitteln.

### **Spannungsqualitäts-Monitoring mittels Smart Meter**

Durch den Einsatz geeigneter Smart Meter und einer gut ausgebauten Kommunikationsstruktur, lässt sich die Spannungsqualität in den einzelnen Netzabschnitten unter Verwendung von Smart Meter ermitteln.

## **GLEICHGEWICHT**

### **Erzeugungskapazität**

#### **Konventionelle Kraftwerke**

Konventionelle Kraftwerke wie Gas-, Kohle- oder Atomkraftwerke sind dadurch gekennzeichnet, dass ein Brennstoff zur Energiegewinnung verwendet wird und können so die Energieerzeugung entsprechend dem Energiebedarf anpassen. Die Erzeugung erfolgt über einen Generator, welcher mit einer Turbine verbunden ist.

#### **Regenerative Kraftwerke**

Regenerative Kraftwerke erzeugen Strom aus Wasser, Wind, Sonne oder Biomasse und sind damit nachhaltig. Ausgenommen der Biomasse sind die regenerativen Kraftwerke stark Dargebots abhängig. Außerdem kommen bei den meisten Kraftwerken Wechselrichter zur Energieerzeugung zum Einsatz.

### **Virtuelle Kraftwerke**

Dezentrale Kraftwerke können als Verbund zu einem virtuellen Kraftwerk zusammengeschlossen werden, um den Betrieb effizienter zu gestalten. Dabei sind die Kraftwerke an ein gemeinsames Leitsystem angeschlossen. Virtuelle Kraftwerke können, wie Großkraftwerke am Regelenergiemarkt partizipieren.

### **Schwarzstartfähige Kraftwerke**

Viele Kraftwerke sind nur in der Lage zu funktionieren, wenn das Stromnetz im Betrieb ist. Im Falle eines Blackouts werden daher sogenannte schwarzstartfähige Kraftwerke benötigt, welche in der Lage sind, auch im Falle eines flächendeckenden Stromausfalles zu starten. Dabei wird die benötigte Hilfsenergie für den Betrieb durch eine Notstromversorgung sichergestellt.

### **Inselfähige Umrichter**

Wechselrichter welche vor allem bei PV-Anlagen zum Einsatz kommen benötigen meist ein funktionsfähiges Stromnetz um zu funktionieren. Ist dieses im Falle eines Blackouts nicht vorhanden, benötigt es inselfähige Umrichter.

### **Hybridparks**

Neue Konzepte von Erzeugungseinheiten kombinieren Wind und PV-Anlagen. Da diese in den meisten Fällen nicht gleichzeitig die volle Einspeiseleistung erbringen, können durch die Kombination die Erzeugung homogen erfolgen und Netzkapazitäten gespart werden.

### **Erzeugungszeitpunkt**

Der Erzeugungszeitpunkt wird innerhalb einer Bilanzgruppe durch den Bilanzgruppenverantwortlichen koordiniert. Der Netzbetreiber kann daher auf den Erzeugungszeitpunkt nur begrenzt Einfluss nehmen.

### **Brennstoffbereitstellung**

Die Brennstoffbereitstellung wird durch den Kraftwerksbetreiber koordiniert und entzieht sich daher der Einflussosphäre des Netzbetreibers.

### **Systemdienstleistung (SDL) Frequenz**

#### **Virtuelle Schwungmasse**

Klassische Erzeugungsanlagen wie Wasserkraftwerke haben Turbinen-Generator-Anordnungen, welche eine große Masse und daher eine hohe Trägheit aufweisen. Diese wird ausgenutzt, um Frequenzschwankungen zu reduzieren. Leistungselektronische Umrichter können entsprechend programmiert werden, damit sie ein ähnliches Verhalten aufweisen und erzeugen damit eine sogenannte „virtuelle Schwungmasse“.

### **Speicher**

#### **Pumpspeicherkraftwerke**

Pumpspeicherkraftwerke sind eine der weitverbreitetsten Möglichkeiten der Energiespeicherung. Als Speicher dient dabei ein hoch gelegener Speichersee. Wird Energie benötigt, wird das Wasser abgelassen

und treibt einen Generator an. Ist ein Stromüberschuss vorhanden wird Wasser in den Speichersee gepumpt und so in Form potentieller Energie gespeichert.

### **Konventionelle Batteriespeicher (Akkumulator)**

Konventionelle Batterien speichern Strom in chemischer Form.

### **Regenerative Brennstoffzellen**

Diese Batterie arbeitet nach dem Prinzip der Brennstoffzelle, wobei der Prozess durch die Zufuhr von elektrischer Energie umkehrbar (Elektrolyseur) ist.

### **Ökologische Batteriespeicher**

Diese Art von chemischen Energiespeicher basiert auf ökologischen Ressourcen wie z.B. Salz und kommt ohne Seltenen Erden aus. Diese Form der Batterie ist nachhaltig, umweltfreundlich, und günstig.

### **Schwungradspeicher**

Ein massereiches Schwungrad wird auf eine hohe Drehzahl beschleunigt und speichert so Energie in Form von Rotationsenergie. Dabei eignet sich das System besonders zur unterbrechungsfreien Stromversorgung, wobei die Energie dieser Systeme meist nur für wenige Sekunden ausgelegt ist.

### **Gravitationsspeicher**

Gravitationsspeicher basieren auf dem Prinzip der potentiellen Energiespeicherung. Durch Zufuhr von kinetischer Energie werden Massereiche Körper (z.B. Betonklötze) mittels eines Krans angehoben und gestapelt. Um Energie aus dem Speicher zu beziehen, werden die Körper zu Boden gelassen. Bei diesem Vorgang wird aus potentieller Energie kinetische Energie, welche zum Antrieb eines Generators genutzt werden kann.

### **Druckluftspeicher**

Dabei wird Luft in einem Speicher (Druckluftspeicher, Kaverne, etc.) komprimiert und kann bei Bedarf eine Gasturbine antreiben.

### **Superkondensatoren**

Superkondensatoren beruhen auf dem Prinzip, das elektrische Energie im Vergleich zu einer herkömmlichen Batterie nicht chemisch, sondern in Form eines elektrischen Feldes gespeichert wird. Sie haben hohe Lade- und Entladezyklen und eine hohe Leistungsdichte, jedoch eine geringe Energiedichte.

### **Supraleitende magnetische Energiespeicher**

Supraleitende magnetische Energiespeicher, speichern die Energie in Form eines magnetischen Feldes. Durch den Einsatz supraleitender Materialien, arbeiten diese Speicher nahezu verlustarm.



## **Prognosen**

### **Lastprofile**

Lastprofile werden herangezogen, um relativ genaue Prognosen über die Lasten im Netz zu erstellen. Dabei können die Profile Kunden/Lasten-Abhängig erstellt werden. Außerdem werden in der Regel unterschiedliche Jahreszeiten berücksichtigt.

### **Wettervorhersagen zur Planung des Kraftwerkseinsatz**

Mit der Zunahme von stark Wetterabhängigen Kraftwerken, wie PV-Anlagen, Windkraftanlagen, aber auch Wasserkraftwerken wird die Wettervorhersage und damit die Vorhersage der Einspeiseleistung immer wichtiger.

### **BIG-Data zur Erstellung von Einspeise- und Lastszenarien**

Durch die Kombination von verschiedensten Daten wie z.B. Wetterdaten, Smart-Meter-Daten, Lastprofile, Schaltzustände, Betriebsmittelauslastungen u.Ä. können in Zukunft weit genauere Prognosen über die Einspeise- und Lastverhältnisse erstellt werden.

## **Sektorkopplung**

### **Vehicle-to-Grid**

E-Autos können nicht nur als reine Lasten fungieren, sondern auch als Speicher genutzt werden und im Bedarfsfall Energie in das Netz abgeben. Diese bidirektionale Speicherfähigkeit wird als Vehicle-to-Grid bezeichnet.

### **Power-to-Heat**

Die Wärmeerzeugung mittels Stroms wird als Power-to-Heat bezeichnet. Dafür können verschiedene Technologien wie Wärmepumpen und KWK-Anlagen verwendet werden.

### **Power-to-H2**

Die Erzeugung von Wasserstoff (H<sub>2</sub>) aus vorwiegend erneuerbaren Energien wird als Power-to-H<sub>2</sub> bezeichnet. Der Wasserstoff kann z.B. in der Industrie oder im Verkehrssektor für den Betrieb von Wasserstofffahrzeugen genutzt werden.

### **Power-to-Syngas**

Strom kann dazu genutzt werden, um synthetische Gase herzustellen und so fossile Energieträger ersetzen. Dabei zeichnen sich diese Gase im Vergleich zu Wasserstoff dafür aus, dass Sie Kohlenstoffverbindungen enthalten, welche für viele chemische Prozesse eine wichtige Rolle spielen.

### **Power-to-Fuel**

Aus elektrischer Energie lassen sich ebenfalls synthetische Kraftstoffe herstellen, welche alternativ zu konventionellen Kraftstoffen eingesetzt werden können.

## **TRANSPORT**

### **Netztopologie**

#### **Strahlennetz**

Bei dieser Netzform laufen die Zweige (Leitungen) strahlenförmig von einem Knotenpunkt zu den einzelnen Verbrauchern. Die Leitungen werden dabei auch als Stich(-leitung) bezeichnet.

#### **Ringnetz**

Bei dieser Topologie wird (bzw. kann) im Vergleich zum Strahlennetz die Verbraucher von zwei Seiten gespeist werden, um die Versorgungssicherheit zu erhöhen.

#### **Maschennetz**

Ein Netz, das aus mehreren Knoten und Zweige verfügt wird als Maschennetz bezeichnet. Dabei können Verbraucher über unterschiedliche Knoten und Zweige versorgt werden.

### **Netzkapazitäten**

#### **Echtzeit Netzsimulationen**

Durch die Simulation des Netzes unter Zuhilfenahme von aktuellen Messdaten, kann die Auslastung der einzelnen Betriebsmittel genauer bestimmt werden. So können freie Kapazitäten im Netz sichtbar gemacht werden oder mögliche Engpässe identifiziert werden.

#### **Rechenunterstützte Optimierung des Wirkungsgrads von Verteilnetzen**

Leitungen im Netz werden meist in einem übernatürlichen (z.B. Freileitungen) oder unternatürlichen (z.B. Kabel) Zustand betrieben. Der zusätzliche benötigte Blindleistungsanteil reduziert die verfügbaren Leitungskapazitäten. Mittels des Einsatzes geeigneter Rechenmodelle und durch aktives Eingreifen in das Netz, mit Hilfe von z.B. Kompensationsanlagen oder Umrichter, lässt sich der Betrieb der einzelnen Leitungen näher an die natürlichen Betriebszustand führen.

#### **Energiemanagementsysteme zur Optimierung von Erzeugern, Lasten und Speicher**

Durch geeignete Energiemanagementsysteme lässt sich gerade in dezentralen Strukturen, das Zusammenspiel von Erzeugern, Lasten und Speicher besser koordinieren, mit dem Ziel, die lokal erzeugte Energie auch lokal zu nutzen. Somit lassen sich Lastflüsse in übergeordnete Netzstrukturen verringern und damit die Beanspruchung des Stromnetzes reduzieren.

#### **Demand-Side-Management**

Die Verbraucherseitige Reduktion von Lasten kann dafür genutzt werden, um Lastspitzen zu glätten oder in Zeiten mit einer geringen Stromerzeugung die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Dafür können große Industrieanlagen bis hin zu Wärmepumpen von Haushalten eingesetzt werden.

#### **Lastmanagement mittels Rundsteuerung**

Lasten welche nicht zwingend die volle Leistung benötigen, wie z.B. E-Ladestationen können dazu genutzt werden, um das Netz zu stützen oder Spannungsqualitätsprobleme zu verhindern. Dazu kann mit Hilfe

eines Rundsteuersignals (und einer Ladestation mit einem entsprechenden Empfänger) die Leistung in Stufen reduziert werden.

### **Negative Regelenergie**

Die Regelung der Erzeugungsleistung von Kraftwerken ist essenziell für die Versorgungssicherheit. Negative Regelenergie ist daher die Verringerung der Erzeugungsleistung. Diese kann im Vergleich zur positiven Regelenergie von allen Kraftwerken erbracht werden.

## **Übertragungssysteme**

### **Kabel**

Diese Form des Übertragungssystems besteht im Wesentlichen aus einem Leiter, welcher isoliert (meist Kunststoff) ausgeführt wird. Dabei werden Kabel üblicherweise vergraben und in entsprechenden Schachtsysteme verlegt, können aber auch auf Strommasten (isolierte Freileitung) montiert werden.

### **Freileitung**

Bei Freileitungen wird ein Leiter isoliert an Masten aufgesetzt, wobei als Isolationsmedium Luft verwendet wird.

### **MV/DC-Übertragung**

Als Alternative der klassischen Energieübertragung mit Wechselstrom, lässt sich auch die Stromübertragung im Mittelspannungsnetz durch den Einsatz von Stromrichtern mittels Gleichstrom realisieren. Als Leitungen können (bestehende) Kabel oder (bestehende) Freileitungen verwendet werden. Dabei lässt sich die Übertragungsleistung der Betriebsmittel deutlich steigern.

### **DC/DC-Kopplung**

Im Niederspannungsnetz werden zur Stromübertragung über längere Entfernungen teils Spartrafos verwendet, welche die Spannung auf 980V transformieren und somit die Leitungsverluste reduzieren. Ähnliches lässt sich auch mittels Stromrichter erreichen, wobei Gleichspannung statt Wechselspannung zur Übertragung eingesetzt wird.

### **Supraleitende Kabel**

Diese Kabel verwenden supraleitende Materialien zur Stromübertragung. Diese Materialien zeichnen sich darin aus, dass der ohmsche Widerstand bei sehr geringen Temperaturen nahezu gegen Null geht und so die Energie nahezu verlustlos transportiert werden kann. Dafür müssen die Kabel jedoch aufwändig gekühlt werden.

## **Kuppelstellen**

### **Trafos**

Transformatoren dienen dazu, das Spannungsniveau zwischen der Primär- und Sekundärseite zu verändern. Dafür werden Spulen eingesetzt, welche über einen Magnetkern verbunden sind. Die Energieübertragung erfolgt dabei in Form eines magnetischen Feldes.

## **Schaltanlagen**

Zu Verteilung der Energie, kommen sogenannte Schaltanlagen zum Einsatz. Diese verfügt über eine Sammelschiene (Knoten) welche über mehrere Abzweige verfügt. An den Abzweigen kommen Schaltelemente zum Einsatz, welche im Folgenden beschrieben werden.

### **Trennschalter**

Ein Trennschalter dient dazu eine Trennstelle herzustellen. Der Schalter kann nur im Lastfreien Zustand (kein Stromfluss) geschaltet werden.

### **Lasttrennschalter**

Ein Lasttrennschalter ist wie der Name schon sagt in der Lage, Lasten zu schalten.

### **Leistungsschalter**

Ein Leistungsschalter ist ein Schaltelement dass sowohl Lasten, sowie Kurzschlussströme welche im Kiloamperebereich liegen zu schalten.

### **Sicherungslasttrennschalter**

Ein Sicherungslasttrennschalter ist in Lasttrennschalter welcher mit einer zusätzlich Sicherung ausgestattet ist. Die Sicherung soll das nachgelagerte Element (Trafo, Leitung, etc.) schützen.

### **Schütz**

Ein Schütz ist in der Lage hohe Leistungen zu schalten und weisen zudem eine hohe Anzahl an Schaltspielen auf.

## **Systemdienstleistung Spannung**

### **SDL Spannung - Erzeugerseitig**

#### **Blindleistungsregelung mittels Umrichter**

Je nach Erzeugungsleistung hat der Netzbetreiber die Möglichkeit, die Blindleistungseinspeisung von synchronen und asynchronen Erzeugern im Rahmen gesetzlicher Vorgaben anzupassen. Diese Anpassung kann automatisiert oder durch Eingreifen über die Leittechnik erfolgen.

#### **FRT (Fault Ride Through)**

Je nach Erzeugungsleistung hat der Netzbetreiber die Möglichkeit, einem synchronen oder asynchronen Erzeuger im Rahmen gesetzlicher Vorgaben ein FRT vorzuschreiben. Dabei handelt es sich um eine dynamische Netzstützung. Kommt es im Netz zu einer kurzzeitigen Spannungsabsenkung, muss der Erzeuger in der Lage sein, den Betrieb aufrechtzuhalten.

#### **Blindleistungskompensationsanlagen**

Je nach Erzeugungsleistung und Netzanschlusspunkt hat der Netzbetreiber die Möglichkeit, im Rahmen gesetzlicher Vorgaben eine Blindleistungskompensation vorzuschreiben. Diese kann z.B. dazu dienen, die Blindleistung von langen Leitungen vor dem Netzanschlusspunkt zu kompensieren.

### **Negative Regelenergie**

Die Regelung der Erzeugungsleistung von Kraftwerken ist essenziell für die Versorgungssicherheit. Negative Regelenergie ist daher die Verringerung der Erzeugungsleistung. Diese kann im Vergleich zur positiven Regelenergie von allen Kraftwerken erbracht werden.

### **Positive Regelenergie**

Die Erhöhung der Stromerzeugung von Kraftwerken wird als positive Regelenergie bezeichnet und wird im Wesentlichen durch die Erhöhung der Brennstoffzufuhr erreicht. Erneuerbare Kraftwerke wie Wind-, PV- und Wasserkraftwerke sind dazu nicht bzw. bei Wasserkraftwerken nur bedingt in der Lage.

### **Statisches Einspeisemanagement (SEM)**

Beim SEM wird die maximale Spitzenlast einer volatilen Erzeugungsanlage (z.B.) PV begrenzt. Damit wird die Einspeisung geglättet und Spitzenerzeugungen im Netz reduziert.

### **Dynamisches Einspeisemanagement (DEM)**

Durch das dynamische Eingreifen in die volatile Erzeugungsanlage (negative Regelenergie) können Erzeugungsspitzen verhindert werden.

### **Statische Spannungshaltung**

Im Gegensatz zum FRT welches dynamische Spannungsänderungen behandelt, muss gemäß der statischen Spannungshaltung die Erzeugungsanlage innerhalb durch die TOR bzw. dem Netzbetreiber vorgegebenen Spannungsbänder der Betrieb aufrechterhalten werden bzw. die Anlage vom Netz gehen.

### **Blindstromstützung**

Im Fall von dynamischen Spannungsänderungen kann der Netzbetreiber je nach Erzeugungsleistung des Erzeugers eine Blindstromstützung vorschreiben, um weitere Spannungserhöhungen oder -absenkungen zu verhindern.

### **Gridforming mittels Umrichter**

Das Verhalten von Leistungselektronischen Umrichter ist maßgeblich von deren Software abhängig. Dies kann dafür genutzt werden, dass die Umrichter nicht dem Netz folgend, sondern selbst das Netz „formen“ bzw. im Inselbetrieb auch selbst erzeugen können. Dieses Verhalten bezieht sich nicht nur auf die Spannung, sondern kann auch für die Frequenzregelung genutzt werden.

### **SDL Spannung - Netz**

#### **Regelbare Trafos**

An Transformatoren können durch die Variation des Spannungsabgriffes an den Spulen die Spannung in gewissen Stufen variiert werden. Regelbare Trafos nutzen dieses Prinzip, wobei die spezielle Ausführung auch die Anpassung des Übersetzungsverhältnis im Betrieb zulässt und über einen Regler sogar aktiv an eine eingestellte Sollspannung anpasst.

### **SST (Solid State Transformator)**

Die Anpassung der Spannung sowie die Energieübertragung erfolgt bei diesem Transformator rein durch leistungselektronische Komponenten. Somit ist auch eine Anpassung der Spannungsform von AC auf DC möglich und ist somit auch in der Lage, ein Netzdienliches Verhalten zu erbringen.

### **Strangregler**

Strangregler regeln an einem Punkt im Netz die Spannung aus. Dafür kann ein serieller Koppeltrafo aber auch leistungselektronische Komponenten herangezogen werden. Dabei kann der Strangregler auch zur Regelung einer einzelnen Phase herangezogen werden.

### **Zick-Zack-Transformatoren**

Dieser Transformator wird auch Balancer genannt und hilft bei unsymmetrischen Belastungen auf der Sekundärseite des Transformators das Spannungsdreieck zu symmetrieren. Dies erfolgt rein Schaltungstechnisch durch Ausführung einer Sternpunktanzapfung.

### **FACTS (Flexible AC Transmission System)**

Als flexible Drehstromübertragungssysteme werden Systeme bezeichnet, die unter Zuhilfenahme Leistungselektronischer Komponenten Lastflüsse gezielt beeinflussen können. Daneben können sie andere Aufgaben wie die Spannungsregelung oder die Blindleistungskompensation erfüllen.

### **SDL Spannung - Verbraucherseitig**

#### **Demand-Side-Management**

Die Verbraucherseitige Reduktion von Lasten kann dafür genutzt werden, um Lastspitzen zu glätten oder in Zeiten mit einer geringen Stromerzeugung die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Dafür können große Industrieanlagen bis hin zu Wärmepumpen von Haushalten eingesetzt werden.

#### **Lastmanagement mittels Rundsteuerung**

Lasten welche nicht zwingend die volle Leistung benötigen, wie z.B. E-Ladestationen können dazu genutzt werden, um das Netz zu stützen oder Spannungsqualitätsprobleme zu verhindern. Dazu kann mit Hilfe eines Rundsteuersignals (und einer Ladestation mit einem entsprechenden Empfänger) die Leistung in Stufen reduziert werden.

### **Redispatch**

Der Redispatch wird vom Regelzonenführer koordiniert und spielt für die vorliegende Arbeit nur eine untergeordnete Rolle.

### **Speicher**

Siehe Kapitel Gleichgewicht.

## **SYSTEMSICHERHEIT**

### **Netzformen (Ebene 5)**

#### **Gelöschtes Netz**

Mittels einer Erdschlusskompensation wird im Falle eines Erdschlusses der Fehlerstrom kompensiert umso die Größe des Fehlerstroms zu reduzieren. Dadurch kann das Netz bis zu zwei Stunden ohne Abschaltung weiterbetrieben werden. Der Nachteil ist dabei, dass es im Fehlerfall zu einer Erhöhung der Spannung in den fehlerfreien Phasen.

#### **Niederohmige Sternpunktterdung**

Bei der niederohmigen Sternpunktterdung wird der Sternpunkt des Trafos über einen Widerstand geerdet. Dadurch wird der Erdschlussstrom im Fehlerfall auf einen definierten Wert begrenzt. Die Spannung der fehlerfreien Phasen wird nicht signifikant erhöht.

#### **Starr geerdetes Netz**

Das starr geerdete Netz zeichnet sich durch sehr hohe Kurzschlussströme aus, welche zur Beschädigung von Betriebsmitteln führen können.

#### **Isoliertes Netz**

Beim isolierten Netz fließt im Fehlerfall fließt nur der kapazitive Erdschlussstrom, der jedoch auch sehr hoch sein kann. Die Außenleiterspannungen der gesunden Phasen erhöhen sich wie beim gelöschten Netz um den Faktor 1,7.

#### **Dezentrale Löschung**

In weit ausgedehnten Kabelnetzen besteht die Möglichkeit, dass aufgrund der hohen Kabelkapazität die Löschgrenze überschritten wird. Wird diese überschritten, kann ein Lichtbogen nicht mehr selbstständig erlöschen. Daher werden zusätzliche dezentrale (meist nicht geregelte) Löserspulen eingesetzt umso die Löschung zu gewährleisten.

### **Netzform (Ebene)**

#### **TN-System**

Beim TN-System wird der Sternpunkt des Transformators auf der Unterspannungsseite geerdet. Zwischen dem Betriebserder und dem Erder der elektrischen Anlagen gibt es eine direkte Verbindung. Unterformen des TN-Systems ist das TN-C System, das TN-C-S und das TN-S System.

#### **TT-System**

Bei diesem System wird der Sternpunkt des Trafos geerdet, wobei dieser nicht direkt mit dem Erder der elektrischen Anlage verbunden ist.

#### **IT-System**

Im sogenannten isolierten Netz gibt es keine galvanische Verbindung zwischen aktiven Leiter und geerdeten Teilen. Der Vorteil ist dabei das ein Isolationsfehler zu keinem direkten Abschalten der

Stromversorgung führt. Diese Netzform bietet sich jedoch nur für kleine Netze, mit hochrelevanten Verbrauchern (z.B. Chirurgie) an.

## **Schutz**

### **UMZ**

Der unabhängige Maximalstromzeitschutz (Überstromzeitschutz) misst mittels eines Stromwandlers den Fehlerstrom und gibt nach einer voreingestellten Zeit den Auslösebefehl. Der Schutz lässt sich in unterschiedlichen Strom und Zeitstufen staffeln.

### **UMZ-R**

Der richtungsabhängige Überstromzeitschutz basiert auf dem Prinzip des UMZ. Durch die zusätzliche Messung der Spannung können Aussagen zur Fehlerrichtung getroffen werden.

### **AMZ**

Der abhängige Maximalstromzeitschutz erfolgt die Auslösung gemäß einer voreingestellten Funktion des Fehlerstroms abhängig von der Zeit. Der AMZ arbeitet dabei ähnlich wie eine Schmelzsicherung.

### **Distanzschutz**

Der Distanzschutz errechnet anhand der Messung von Strom und Spannung die Leitungsimpedanz aus. So lässt sich die Fehlerstelle entlang des Abgangs sehr exakt bestimmen und der Fehler in Schnellzeit abschalten. Ebenfalls ist dieser Schutz für die Staffelung geeignet.

### **Differenzialschutz**

Der Leitungsdifferenzialschutz misst den Differenzstrom zwischen einem Betriebsmittel. Dabei kann es sich bei den Betriebsmitteln um einen Trafo oder eine Leitung handeln. Wird ein zu großer Differenzstrom erfasst, muss ein Fehler an den Betriebsmitteln vorliegend und es kommt zur Abschaltung.

### **Spannungsschutz**

Wird die zulässige Spannung an einem Betriebsmittel überschritten, sorgt der Spannungsschutz für die Abschaltung, bevor es zur Beschädigung des Betriebsmittels kommt.

### **Frequenzschutz**

Der Frequenzschutz sorgt bei einer abweichenden Frequenz zur Abschaltung.

### **Sicherung**

Eine Schmelzsicherung schützt das Betriebsmittel durch Überlastung sowie im Kurzschlussfall um Schäden am Betriebsmittel aufgrund eines überhöhten Stroms zu verhindern. Dabei nutzt die Sicherung den Wärmeeintrag des Stroms. Ist dieser zu hoch löst die Sicherung aus und wird beabsichtigt beschädigt.

### **Automatische Wiedereinschaltung**

Bei der AWE oder auch Kurzunterbrechung genannt und kommt bei Freileitungen zu Einsatz. Durch Bewuchs oder Blitzeinschläge kann es zu einem Fehler auf der Leitung kommen, der in eine Lichtbogen resultiert. Bei der AWE wird die Leitung kurz freigeschaltet und automatisch nach einigen hundertstell



Sekunden wieder zugeschaltet. Ist nach der erneuten Zuschaltung der Fehler immer noch vorhanden, wird die Leitung vollständig abgeschaltet.

### **Überlastschutz**

Durch eine voreinstellbare Stromabhängig verzögerte Auslösung, wird eine Überlastung von nachgelagerten Betriebsmittel verhindert. Hierzu kann eine Sicherung, ein Schutzgerät oder Motorschutz eingesetzt werden.

### **Lastabwurf**

Droht ein Zusammenbruch des Stromnetzes aufgrund von Unterfrequenz oder Unterspannung, sowie die thermische Überlastung essentieller Betriebsmittel, kommt es zum gezielten Abschalten von vordefinierten Lasten. Die betroffenen Kunden und Netzabschnitte sind von einem Stromausfall betroffen um im Gegenzug großflächige Störungen zu verhindern.

### **Selektivität**

Die Selektivität lässt sich durch eine geeignete Staffelung der Schutzorgane in Kombination mit entsprechenden Auslöseeinrichtungen erreichen. Sie ist wichtig, damit fehlerbehaftete Betriebsmittel oder Netzabschnitte selektiv abgeschaltet werden und sich Fehler nicht im gesamten Netz ausbreiten können.

### **Diagnostik**

#### **Chemische Diagnostik von Isolierölen**

Durch die chemische Analyse von Isolierölen von Transformatoren können wichtige Erkenntnisse über den Zustand und der Alterung des Betriebsmittels getroffen werden. So lassen sich Isolationsfehler frühzeitig verhindern.

#### **Isolationsmessung**

Die Messung der Isolation ist ein wichtiges und relativ einfach durchzuführende Diagnostikmethode, um den Zustand des Betriebsmittels und deren Funktionstüchtigkeit zu bewerten.

#### **VLF-Kabelprüfung**

Bei der Very-Low-Frequency wird der Verlustfaktor des Kabeldielektrikums bei unterschiedlichen Frequenzen gemessen, um so Aussagekräftige Rückschlüsse über den Zustand der Isolation zu treffen.

#### **Thermisch Diagnostik**

Durch die Ermittlung der Erwärmung des Betriebsmittel kann die Auslastung des Betriebsmittels ermittelt werden und das Betriebsmittel frühzeitig vor Überbeanspruchung geschützt werden. Dazu können z.B. Wärmebildkameras, Thermometer oder auch Lichtwellenleiter verwendet werden.

#### **TE-Messung**

Teilentladungen können die Vorstufe eines Durchschlags / Überschlags sein. Werden diese rechtzeitig ermittelt kann auch ein möglicher Isolationsfehler vorzeitig verhindert werden. Die Messung kann sowohl optisch (TE-Kameras), elektrisch (TE-Messgeräte) aber auch akustisch (Mikrophone) erfolgen.

#### **Diagnostik von Freileitungen mittels GIS-Daten**

Um den Zustand von Freileitungen und deren Trassen zu bewerten, müssen diese in regelmäßigen Abständen begangen werden. Abhilfe kann hier die Verwendung von GIS-Daten (Geo-Informationssystem) schaffen. Durch die regelmäßige Auswertung der Satellitenbilder, kann unter Zuhilfenahme von künstlicher Intelligenz, der Zustand der Trassen in Bezug auf den Bewuchs bewertet werden.

### **Diagnostik von Freileitungen mittels Drohnen**

Drohnen welche mit einer komplexen Sensorik (Wärmebildkamera, TE-Kamera, etc.) ausgestattet sind, können autonom Freileitungen befliegen. Unter Zuhilfenahme der Sensorik und künstlicher Intelligenz, können die Drohnen selbstständig mögliche Fehlerquellen oder Schwachstellen an der Freileitung, wie thermische Hotspots oder Teilentladungen identifizieren.

### **FDS-Diagnostik**

Die „Frequency Domain Spectroscopy“ ist ein zerstörungsfreies Diagnoseverfahren, bei dem der Verlustfaktor bei einem breiten Spektrum an Frequenzen gemessen wird. Somit können aus diesem Messverfahren weit mehr Daten über den Zustand des Dielektrikums gewonnen werden.

### **Online-Monitoring**

#### **Online-Monitoring von Transformatoren**

Beim online-Monitoring von Transformatoren werden unterschiedliche Messungen an dem aktiven Betriebsmitteln durchgeführt. Dies können Temperatur, Strom, Spannung, Gas-in-Öl-Analysen oder sogar Teilentladungen sein.

#### **Online Monitoring von Kabelstrecken**

Zur Dauerhaften Beurteilung des Isolationszustands von Kabelstrecken und den Kabelgarnituren kann ein kontinuierliches TE-Monitoring durchgeführt werden. Weiters besteht die Möglichkeit die Temperatur des Kabels mittels Lichtwellenleiter zu überwachen.

#### **Condition Monitoring von Freileitungen**

Bei der Bestimmung des Zustandes der Freileitung werden vor allem die Parameter Leitungsdurchhang und Leitungstemperatur, sowie Umgebungstemperatur ermittelt.

#### **IOT Asset Management von Betriebsmitteln**

Betriebsmittel der Zukunft sind im Internet of Things (IoT) zunehmend vernetzt und liefern über Sensorik und Messsysteme deutlich mehr Informationen und Daten.

#### **Expertensysteme**

Mit Hilfe von maschinellem Lernen erfolgt in Zukunft die Auswertung von Messdaten der Betriebsmittel automatisiert. So lassen sich gefährliche Trends identifizieren und mögliche Defekte der Betriebsmittel rechtzeitig verhindern.

## ANHANG 8: DATEN AUS DEM PRAXISTEIL

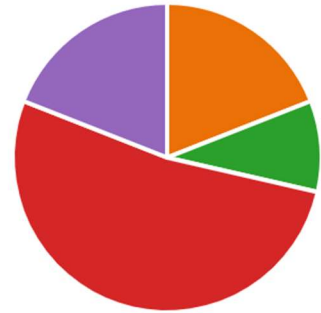


Abbildung 61: Ausbildungsstand der Teilnehmer zur Umfrage über die Trends in der Elektrizitätswirtschaft, Quelle: MS-Forms



Abbildung 62: Berufserfahrung der Teilnehmer zur Umfrage über die Trends in der Elektrizitätswirtschaft, Quelle: MS-Forms



Abbildung 63: Ausbildungsstand der Teilnehmer zur Umfrage über den Technologiereifegrad, Quelle: MS-Forms



Abbildung 64: Berufserfahrung der Teilnehmer zur Umfrage über den Technologiereifegrad, Quelle: MS-Forms

Anhang 8: Daten aus dem Praxisteil

Kriterium	Beherrschungsgrad	Realisierungsgeschwindigkeit	Aufwand	Komplementärtechnologien (Szenario abhängig)	Summe	Relative Gewichtung
Beherrschungsgrad		0,5	0,5	0,5	1,5	0,23
Realisierungsgeschwindigkeit	0,5		0,5	0,5	1,5	0,23
Aufwand	1	0,5		0,5	2	0,31
Komplementär(-technologien) (Szenarien abhängig)	0,5	0,5	0,5		1,5	0,23
Gesamt					6,5	1,00

Tabelle 24: Paarweiser Vergleich der Kriterien der relativen Position, Quelle: eigene Darstellung

Kriterium	Technologiereifegrad	Risiko	Anwendungsbreite	Versorgungssicherheit (Szenarien abhängig)	Summe	Relative Gewichtung
Technologiereifegrad		0	0,5	0	0,5	0,08
Risiko	1		0,5	0	1,5	0,25
Anwendungsbreite	0,5	0,5		0	1	0,17
Versorgungssicherheit (Szenarien abhängig)	1	1	1		3	0,50
Gesamt					6	1,00

Tabelle 25: Paarweiser Vergleich der Kriterien der Technologieattraktivität, Quelle: eigene Darstellung

Zero Investment		Digital Twin		Intelligente Ortsnetzstationen		SCADA-System NSP		Monitoring mittels Smartmeter Daten		Regelbare Ortsnetztrafos		MVDC-Übertragung		Gridforming mittels Umrichter		Negative Regellenergie von Erneuerbare		Lastmanagement mittels Rundsteueranlagen		Diagnostik von Freileitungen mittels Drohnen		Regenerative Brennstoffzelle (2 MW / 20 MW)	
Kriterien	Relative Gewichtung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung
Beherrschungsgrad	23,05%	3,00	0,69	8,00	1,85	7,00	1,62	8,00	1,85	7,00	1,62	1,00	0,23	8,00	1,85	8,00	1,85	8,00	1,85	2,00	0,46	3,00	0,69
Realisierungs-geschwindigkeit	23,05%	5,00	1,15	5,00	1,15	3,00	0,69	7,00	1,62	7,00	1,62	6,00	1,38	7,00	1,62	8,00	1,85	8,00	1,85	7,00	1,62	4,00	0,92
Aufwand	30,77%	3,00	0,69	5,00	1,15	2,00	0,46	7,00	1,62	5,00	1,15	4,00	0,92	8,00	1,85	2,46	0,55	8,00	1,85	7,00	1,62	4,00	0,92
Komplementär-technologien (Szenarien abhängig)	23,05%	5,00	1,15	5,00	1,15	5,00	1,15	3,00	0,69	5,00	1,15	2,00	0,46	5,00	1,15	5,00	1,15	4,00	0,92	3,00	0,69	3,00	0,69
<b>Nutzwert</b>		<b>3,92</b>		<b>5,63</b>		<b>4,08</b>		<b>6,31</b>		<b>5,32</b>		<b>3,31</b>		<b>7,08</b>		<b>7,00</b>		<b>7,08</b>		<b>6,31</b>		<b>3,54</b>	
<b>&gt; 100 % Erneuerbare</b>																							
Kriterien	Relative Gewichtung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung
Beherrschungsgrad	23,05%	3,00	0,69	8,00	1,85	7,00	1,62	8,00	1,85	7,00	1,62	1,00	0,23	8,00	1,85	8,00	1,85	8,00	1,85	2,00	0,46	3,00	0,69
Realisierungs-geschwindigkeit	23,05%	5,00	1,15	5,00	1,15	3,00	0,69	7,00	1,62	7,00	1,62	6,00	1,38	7,00	1,62	8,00	1,85	8,00	1,85	7,00	1,62	4,00	0,92
Aufwand	30,77%	3,00	0,69	5,00	1,15	2,00	0,46	7,00	1,62	5,00	1,15	4,00	0,92	8,00	1,85	2,46	0,55	8,00	1,85	7,00	1,62	4,00	0,92
Komplementär-technologien (Szenarien abhängig)	23,05%	7,00	1,62	5,00	1,15	6,00	1,38	1,00	0,23	5,00	1,15	8,00	1,85	4,00	0,92	4,00	0,92	2,00	0,46	6,00	1,38	3,00	0,69
<b>Nutzwert</b>		<b>4,38</b>		<b>5,63</b>		<b>4,31</b>		<b>5,85</b>		<b>5,32</b>		<b>4,63</b>		<b>6,85</b>		<b>6,77</b>		<b>6,62</b>		<b>5,62</b>		<b>4,92</b>	
<b>Green Tech Cluster</b>																							
Kriterien	Relative Gewichtung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung
Beherrschungsgrad	23,05%	3,00	0,69	8,00	1,85	7,00	1,62	8,00	1,85	7,00	1,62	1,00	0,23	8,00	1,85	8,00	1,85	8,00	1,85	2,00	0,46	3,00	0,69
Realisierungs-geschwindigkeit	23,05%	5,00	1,15	5,00	1,15	3,00	0,69	7,00	1,62	7,00	1,62	6,00	1,38	7,00	1,62	8,00	1,85	8,00	1,85	7,00	1,62	4,00	0,92
Aufwand	30,77%	3,00	0,69	5,00	1,15	2,00	0,46	7,00	1,62	5,00	1,15	4,00	0,92	8,00	1,85	2,46	0,55	8,00	1,85	7,00	1,62	4,00	0,92
Komplementär-technologien (Szenarioabhängig)	23,05%	3,00	0,69	6,00	1,38	9,00	2,08	3,00	0,69	5,00	1,15	9,00	2,08	7,00	1,62	7,00	1,62	7,00	1,62	4,00	0,92	5,00	1,15
<b>Nutzwert</b>		<b>4,85</b>		<b>5,32</b>		<b>5,00</b>		<b>7,69</b>		<b>5,32</b>		<b>4,92</b>		<b>7,54</b>		<b>6,77</b>		<b>7,77</b>		<b>5,15</b>		<b>4,00</b>	

Tabelle 26: Nutzwertanalyse zur relativen Technologieposition, Quelle: eigene Darstellung

Kriterien		Digital Twin		Intelligente Ortsnetzstationen		SCADA-System MSP		Monitoring mittels Smartmeter Daten		Regelbare Ortsnetztafos		MYDCC-Übertragung		Gridforming mittels Umrichter		Negative Regellenergie von Erneuerbare		Lastmanagement mittels Rundsteueranlagen		Diagnostik von Freileitungen mittels Drohnen		Regenerative Brennstoffzelle (2 MW / 20 MWh)	
		Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung	Erfüllungsgrad	Gewichtete Bewertung
<b>Zero Investment</b>		<b>6.17</b>																					
Technologiereifegrad		8,33%	0,58	10,00	0,83	10,00	0,83	6,00	0,50	10,00	0,83	7,00	0,58	7,00	0,58	10,00	0,83	6,00	0,50	6,00	0,50	6,00	0,50
Risiko		25,00%	2,25	8,00	2,00	8,00	2,00	7,00	1,75	7,00	1,75	6,00	1,50	6,00	1,50	7,00	1,75	6,00	1,50	4,00	1,00	5,00	1,25
Anwendungsbreite		16,67%	0,83	8,00	1,33	5,00	0,83	5,00	0,83	6,00	1,00	3,00	1,50	3,00	1,50	4,00	0,67	3,00	0,83	5,00	0,83	7,00	1,17
Beitrag zur Versorgungssicherheit (Szenarienabhängig)		50,00%	2,50	5,00	2,50	5,00	2,50	2,00	1,00	6,00	3,00	3,00	1,50	6,00	3,00	10,00	5,00	4,00	2,00	8,00	4,00	3,00	4,50
<b>Nutzwert</b>		<b>6.17</b>																					
<b>&gt; 100 % Erneuerbare</b>		<b>6.58</b>																					
Technologiereifegrad		8,33%	0,58	10,00	0,83	10,00	0,83	6,00	0,50	10,00	0,83	7,00	0,58	7,00	0,58	10,00	0,83	6,00	0,50	6,00	0,50	6,00	0,50
Risiko		25,00%	2,25	8,00	2,00	8,00	2,00	7,00	1,75	7,00	1,75	6,00	1,50	6,00	1,50	7,00	1,75	6,00	1,50	4,00	1,00	5,00	1,25
Anwendungsbreite		16,67%	0,83	8,00	1,33	5,00	0,83	5,00	0,83	6,00	1,00	3,00	1,50	3,00	1,50	4,00	0,67	3,00	0,83	5,00	0,83	7,00	1,17
Beitrag zur Versorgungssicherheit (Szenarienabhängig)		50,00%	2,50	5,00	2,50	5,00	2,50	2,00	1,00	6,00	3,00	3,00	1,50	6,00	3,00	10,00	5,00	4,00	2,00	8,00	4,00	3,00	4,50
<b>Nutzwert</b>		<b>7.17</b>																					
<b>Green Tech Cluster</b>		<b>7.58</b>																					
Technologiereifegrad		8,33%	0,58	10,00	0,83	10,00	0,83	6,00	0,50	10,00	0,83	7,00	0,58	7,00	0,58	10,00	0,83	6,00	0,50	6,00	0,50	6,00	0,50
Risiko		25,00%	2,25	8,00	2,00	8,00	2,00	7,00	1,75	7,00	1,75	6,00	1,50	6,00	1,50	7,00	1,75	6,00	1,50	4,00	1,00	5,00	1,25
Anwendungsbreite		16,67%	0,83	8,00	1,33	5,00	0,83	5,00	0,83	6,00	1,00	3,00	1,50	3,00	1,50	4,00	0,67	3,00	0,83	5,00	0,83	7,00	1,17
Beitrag zur Versorgungssicherheit (Szenarienabhängig)		50,00%	2,50	5,00	2,50	5,00	2,50	2,00	1,00	6,00	3,00	3,00	1,50	6,00	3,00	10,00	5,00	4,00	2,00	8,00	4,00	3,00	4,50
<b>Nutzwert</b>		<b>8.17</b>																					
<b>Green Tech Cluster</b>		<b>8.08</b>																					
Technologiereifegrad		8,33%	0,58	10,00	0,83	10,00	0,83	6,00	0,50	10,00	0,83	7,00	0,58	7,00	0,58	10,00	0,83	6,00	0,50	6,00	0,50	6,00	0,50
Risiko		25,00%	2,25	8,00	2,00	8,00	2,00	7,00	1,75	7,00	1,75	6,00	1,50	6,00	1,50	7,00	1,75	6,00	1,50	4,00	1,00	5,00	1,25
Anwendungsbreite		16,67%	0,83	8,00	1,33	5,00	0,83	5,00	0,83	6,00	1,00	3,00	1,50	3,00	1,50	4,00	0,67	3,00	0,83	5,00	0,83	7,00	1,17
Beitrag zur Versorgungssicherheit (Szenarienabhängig)		50,00%	2,50	5,00	2,50	5,00	2,50	2,00	1,00	6,00	3,00	3,00	1,50	6,00	3,00	10,00	5,00	4,00	2,00	8,00	4,00	3,00	4,50
<b>Nutzwert</b>		<b>8.17</b>																					
<b>Green Tech Cluster</b>		<b>8.08</b>																					
Technologiereifegrad		8,33%	0,58	10,00	0,83	10,00	0,83	6,00	0,50	10,00	0,83	7,00	0,58	7,00	0,58	10,00	0,83	6,00	0,50	6,00	0,50	6,00	0,50
Risiko		25,00%	2,25	8,00	2,00	8,00	2,00	7,00	1,75	7,00	1,75	6,00	1,50	6,00	1,50	7,00	1,75	6,00	1,50	4,00	1,00	5,00	1,25
Anwendungsbreite		16,67%	0,83	8,00	1,33	5,00	0,83	5,00	0,83	6,00	1,00	3,00	1,50	3,00	1,50	4,00	0,67	3,00	0,83	5,00	0,83	7,00	1,17
Beitrag zur Versorgungssicherheit (Szenarienabhängig)		50,00%	2,50	5,00	2,50	5,00	2,50	2,00	1,00	6,00	3,00	3,00	1,50	6,00	3,00	10,00	5,00	4,00	2,00	8,00	4,00	3,00	4,50
<b>Nutzwert</b>		<b>8.17</b>																					
<b>Green Tech Cluster</b>		<b>8.08</b>																					

Tabelle 27: Nutzwertanalyse zur Technologieattraktivität, Quelle: eigene Darstellung